

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky
a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Měření provozních veličin obnovitelných zdrojů s připojením
k ethernetu

Measurement Unit Connected by Ethernet for Renewable Energy
Sources

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc.Ing. Bronislav Suchý**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 2601T004 Měřicí a řídicí technika

Téma: **Měření provozních veličin obnovitelných zdrojů s připojením k ethernetu**
Measurement Unit Connected by Ethernet for Renewable Energy Sources

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem diplomové práce je realizace systému pro monitorování a dispečerské řízení vodní elektrárny. Součástí práce je analýza a implementace monitorovacího systému pro embedded zařízení, přizpůsobení komunikačního protokolu pro zařazení do stávajícího informačního systému, návrh a realizace dispečerského rozhraní.

V souhrnu je práce charakterizována těmito body:

1. Rešerše řešení monitorovací jednotky pro danou oblast.
2. Návrh a realizace měřicí a monitorovací části.
3. Návrh a implementace řídicího softwaru.
4. Návrh a realizace dispečinku.
5. Test zařízení na vodní elektrárně.
6. Zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] DOLEČEK, Jaroslav. *Moderní učebnice elektroniky - 3. díl*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-184-5.
- [2] CLARKE, Gordon a Deon REYNDERS. *Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems (IDC Technology)*. 1st ed. Oxford: Newnes, 2004. ISBN 978-0750657990.
- [3] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu - 4. díl edice Senzory neelektrických veličin*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 978-8073001582.
- [4] UPTON, Eben a Gareth HALFACREE. *Raspberry Pi User Guide*. 3rd ed. Wiley, 2014. ISBN 978-1118921661.
- [5] International standard IEC 60870-5-104.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Zdeněk Slanina, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.



V Ostravě 29. dubna 2016

.....
Ing. Bronislav Suchý

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Zdeňku Slaninovi, Ph.D. za odbornou pomoc, konzultaci a trpělivost při vytváření této diplomové práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce pojednává o realizaci systému pro monitorování a dispečerské řízení vodní elektrárny. Součástí práce je analýza a implementace monitorovacího systému pro embedded zařízení, přizpůsobení komunikačního protokolu pro zařazení do stávajícího informačního systému malé vodní elektrárny (dále jen MVE) pracujícího na průmyslovém PLC/PAC WinPAC WP-8000. Nejdříve jsou rozebrány požadavky kladené na monitorování a dispečerské řízení MVE. Práce se dále zabývá komunikací protokolem Modbus TCP.

Klíčová slova

Malá vodní elektrárna, programovatelný automat, MVE, PLC/PAC, REX, WinPAC, WP-8000, ICPDAS, embedded, Modbus, Raspberry PI.

Abstract

This work treats of Measurement Unit Connected by Ethernet for Renewable Energy Sources the small water power plant. The work includes analysis and implementation monitoring system for embedded devices, adapting the communication protocol for inclusion in the existing information system small hydropower plants (hereinafter MVE) working on an industrial PLC / PAC WinPAC WP-8000. First are discussed requirements for monitoring and supervisory control of MVE. The study also deals with the communication by Modbus TCP.

Keywords

small hydro plant, Programmable Automation Controller, MVE, PLC/PAC, REX, WinPAC, WP-8000, ICPDAS, embedded, Modbus, Raspberry PI.

Seznam použitých symbolů a zkratek

COM	sériový port
VTE	Větrná elektrárna
Modbus	je otevřený protokol pro vzájemnou komunikaci různých zařízení
MVE	malá vodní elektrárna do výkonu 10 MW
OK	oběžné kolo turbíny
OPC	standardizovaná specifikace rozhraní pro aplikace, které jsou zaměřeny na řízení a monitorování rychlých procesů (OLE for Process Control)
PAC	moderní programovatelný kontroler (z anglického Programmable Automation Controller)
PLC	Programovatelný logický automat (z anglického Programmable Logic Controller)
REX	vyspělý nástroj pro návrh a realizaci komplexních algoritmů automatického řízení firmy Rexcontrols
RK	rozdávčí kolo turbíny
RS 232	port pro sériovou komunikaci
RS 485	port pro sériovou komunikaci
RTU	varianta komunikačního protokolu Modbus
SCADA/HMI	vizualizační systém
SFC	Sequential function chart - grafický programovací jazyk pro PLC podle standardu IEC 61131-3

TCP/IP	komunikační protokol
WinPAC	Modulární řídicí systémy firmy ICPDAS
DS	Distribuční soustava
PDS	Provozovatel distribuční soustavy
PPDS	Pravidla provozování distribuční soustavy
HDO	Hromadné dálkové ovládání
RTU	Remote Terminal Unit – řídicí jednotka, jednotka pro přenos dat
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MVE	Malá vodní elektrárna
FVE	Fotovoltaická elektrárna

Obsah

Úvod	2
1 Využívání vodní energie	3
1.1 Energie vody a její zdroje	3
1.2 Vodní elektrárny.....	3
1.3 Vodní turbíny.....	4
2 Rozbor problematiky řízení malých vodních elektráren	7
2.1 Historie ovládání malých vodních elektráren.	7
2.2 Signalizace pro potřeby obsluhy u soustrojí malé vodní elektrárny.	9
2.3 Přístrojové řešení automatiky.	9
2.4 Přifázování generátoru k rozvodné síti.	9
2.5 Snímače neelektrických veličin.	10
2.6 Obecné požadavky na řídicí systém malé vodní elektrárny.....	11
2.7 Kompaktní jednotka RTU pro dispečerské řízení obnovitelných zdrojů elektřiny.	12
2.8 Modul RTU pro dispečerské řízení (Bridge-104) [9].....	13
3 Návrh a realizace měřicí a monitorovací části.....	15
3.1 Popis Raspberry Pi.....	15
3.2 Připojení modemu.....	16
3.3 Kontrola modemu	17
3.4 Měření teploty	17
4 Návrh a implementace řídicího softwaru.....	18
4.1 Návrh.....	18
4.2 Realizace.....	19
4.3 Popis vizualizace.....	19
4.4 Řízení turbíny – ruční režim	21
4.5 Parametry regulace turbíny.	24
4.6 Trendy	25
4.7 Komunikace s řídicím systémem.....	26
4.8 Databáze tagů	27

4.9	Skriptové proměnné.....	27
4.10	Posílání SMS zpráv.....	29
4.11	Nastavení routeru	29
5	Návrh a realizace dispečinku.	31
5.1	Požadavky na přípravu pro dispečerské informace ze strany provozovatele distribuční soustavy.....	31
5.2	Vlastní návrh dispečerského rozhraní.	34
6	Test zařízení na vodní elektrárně.	39
6.1	Protokol Modbus.....	39
6.2	Úprava řídicího systému Rexcontrol.	42
7	Zhodnocení a závěr	46
	Literatura.....	47
	Seznam obrázků a tabulek	49

Úvod

S rozvojem a větším používáním složitějších postupů, pomocných a zkušebních nástrojů přímého řízení, měření hodnot a ovládání zařízení a procesů v reálném čase se využívá některých těchto progresivních postupů při řešení monitorování strojů, které pracují na principu obnovitelných zdrojů energie, protože i zde je třeba splnit vyšší požadované nároky na navržené technické řešení. V mé diplomové práci jsem ověřoval možnost využití panelového analyzátoru sítě k monitorování vybraných provozních elektrických veličin pro potřeby nadřazeného řídicího systému PLC. Dalším důležitým bodem práce je návrh systému pro monitorování chodu a dispečerské řízení malé vodní elektrárny. Součástí návrhu je analýza a implementace monitorovacího systému pro embedded zařízení, přizpůsobení komunikačního protokolu pro zařazení do stávajícího informačního systému, návrh a realizace dispečerského rozhraní.

Z důvodu výrazného růstu cen energetických surovin a zvyšování významu ekologie začaly vyspělé státy měnit svou energetickou doktrínu směrem k vyšší soběstačnosti ve využívání zdrojů energie, používání ekologicky čistších a recyklovatelných prvotních zdrojů energie. Důležité místo mezi obnovitelnými, ale i všemi ostatními zdroji energie měly a mají vodní elektrárny, umožňující s velkou účinností měnit polohovou energii vody v elektrickou energii bez vedlejších škodlivých dopadů na okolní životní prostředí. Zeměpisná poloha naší republiky je taková, že významné, na vodu bohaté, řeky u nás většinou pouze pramení, a tak značná část této energie vody je rozptýlena v menších řekách. Vodní energie je doplňujícím, nicméně kvalitou velmi důležitým a ekologicky čistým zdrojem elektrické energie. Zahrnuje elektrárny od těch nejmenších výkonů o instalovaném výkonu necelých 20 kW, až po jezové a přehradní elektrárny o výkonech 10 MW.

Významnou úlohu hraje i možnost dočasné akumulace a odložení výroby energie u přečerpávacích a přehradních vodních elektráren, kdy lze výrobu dispečersky směřovat do období, kdy je energie nedostatek a tím lépe vykrývat denní i sezonní potřeby diagramu spotřeby elektrické energie.

1 Využívání vodní energie

1.1 Energie vody a její zdroje

Voda v přírodě je nositelem chemické, mechanické, chemické a tepelné energie. Stále recyklujícím se druhem energie je vodní energie, jejíž povaha je daná koloběhem vody v přírodě. U tekoucí vody se v nejvíce používá její potenciální (polohová) a kinetická (pohybová) složka energie. Voda teče z vyšších nadmořských výšek a na cestě předává svou uloženou polohovou energii. Následně se vrací do moře, kde je menší potenciální energie vody. Hlavní využívanou složkou je mechanická energie vody, která zahrnuje energii atmosférických srážek, toků, jezer, moří a ledovců, moří. Ve skutečnosti se používá potenciální energie vodních toků (tzv. bílá energie), energie oceánů ve formě mořských vln (tzv. fialová energie) a ve formě odlivu a přílivu (tzv. modrá energie). Energie mořských vln je ohromná, ale její praktické využívání je složitější, neboť příčinou vlnění je vítr, typickou vlastností energie vln je velká nepravidelnost a nestálost [10] a tím menší spolehlivost plánování výroby. V současné době se potenciální energie vody již nemění přímo na mechanickou energii, jak tomu bylo u mlýnů, pil a hamrů, ale ve vodních elektrárnách se mění na elektrickou energii, která je dodávána do rozvodné sítě.

1.2 Vodní elektrárny

Obecně můžeme malé vodní elektrárny rozdělit podle způsobu akumulace vodní energie (spádu a průtoku, podle velikosti měrné energie díla, podle jednotkového výkonu soustrojí, podle dosažitelného výkonu a podle způsobu připojení do rozvodné sítě.

Podle způsobu akumulace vodní energie dělíme malé vodní elektrárny na:

- přehradní a jezové, které využívají vzdouvacího zařízení (hráz nebo jez),
- derivační, které převádí vodu z koryta náhonem nebo potrubím do elektrárny a opět ji vrací do původního koryta,
- přehradně derivační, kde je vzdouvacím zařízením hráz přehrady, která akumuluje vodu, soustřeďuje spád i objemový průtok, voda je přiváděčem vedena k turbínám,
- přečerpávací, která má horní a dolní akumulární nádrž. V době přebytku elektrické energie v rozvodné síti elektrárna čerpadly, které pohání levná přebytečná elektrická energie ze sítě, přečerpává vodu zpět z dolní nádrže do horní. V období nedostatku elektrické energie je voda vypouštěna přes turbíny z horní nádrže do spodní a vyrábí elektrickou energii, kterou dodává zpět do rozvodné sítě. [6]

Malé vodní elektrárny podle instalovaného výkonu rozdělujeme:

Rozdělení MVE podle instalovaného výkonu je uvedeno v tabulce 1 ČSN 750128 [6]. Tato diplomová práce se zabývá realizací systému pro monitorování a dispečerské řízení pro vodní

elektrárny do velikosti malé vodní elektrárny, tedy do výkonu 10 MW. Navržené zařízení lze instalovat i u jiných druhů obnovitelných zdrojů energie.

Kategorie malé vodní elektrárny	Instalovaný výkon malé vodní elektrárny (MW)
I	nad 0,5
II	nad 0,1 do 0,5
III	nad 0,035 do 0,1
IV	do 0,035

Tabulka 1. Malé vodní elektrárny podle instalovaného výkonu

Malé vodní elektrárny podle velikosti měrné energie:

Rozdělení malých vodních elektráren podle měrné energie je uvedeno v tabulce 2 [8].

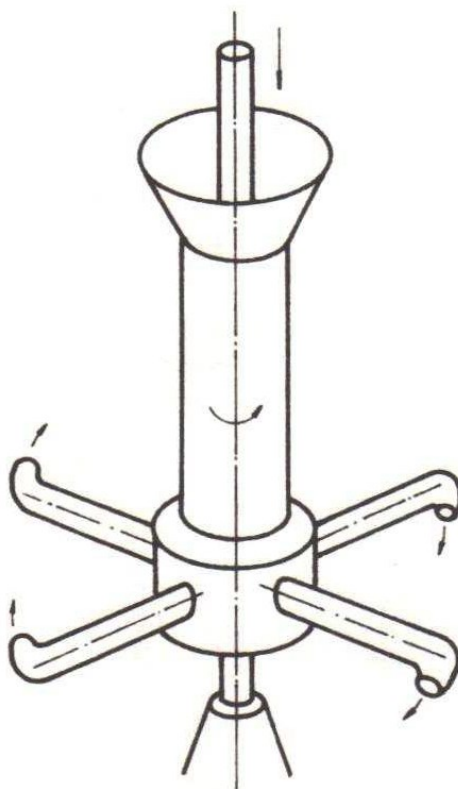
Malé vodní elektrárny	Měrná energie (m)
Nízkotlaké	do 20
Středotlaké	nad 20 do 100
Vysokotlaké	nad 100

Tabulka 2. Malé vodní elektrárny podle měrné energie vody

1.3 Vodní turbíny

Nejstaršími hydraulickými stroji jsou vodní kola, která byla využívána jako stroje pracovní k čerpání vody z dolů, ze studní, k závlahám a později i jako vodní motory k pohonu jiných zařízení, např. na pilách, hamrech a vodních mlýnech. 200 let před n. l. se v západní části Balkánského poloostrova konstruovaly první vodní kola se svislými hřídeli, které přímo poháněly mlýnské kameny. Šlo o první využívání přírodní síly vody v daném místě. Zlepšením, oproti vertikálnímu vodnímu kolu, bylo využití horizontálního uspořádání vodního kola s přenosem pohonu na vertikálně uložené mlýnské kameny pomocí zubového převodu. Při horizontálním uspořádání se lépe využila měrná energie vody. Vodní mlýny v uspořádání s vodorovným mlýnským kolem byly také řešeny jako plovoucí na velkých řekách.

Kolem roku 280 po Kristu byl vybudován na spádu 18 m již kompletní velkomlýn s 18 vodními koly ve dvou kanálech ve Francii u Arles. Na území České republiky byl již v roce 718 n. l. na řece Ohři u Žatce postaven první mlýn poháněný vodní energií. Podnět k rozvoji modernějších rotačních lopatkových strojů dal lékař Ján Andrej Segner (1704-1783), rodák z Bratislavy, který přednášel na univerzitách v Halle, Jeně a Gottingenu [8]. Segnerovo kolo se považuje za první kolo využívající reakční princip využívaný u vodního motoru.



Obrázek 1 princip Segnerova kolo [8].

Následovala zdokonalení Leonardem Eulerem a profesorem Claude Burdinem. Rozvoj dynamiky vody byl dovršen v 17. století zásluhou Holanďana Daniela Bernoulliho (1700-1782) a také Švýcara Leonarda Eulera (1707-1783), kteří pracovali jako členové akademie věd v Ruském Petrohradě, kde položili teoretické základy pro vývoj vodních motorů (čerpadel a vodních turbín). Vodní turbíny byly zavedeny do používání na začátku 19. století, kdy postavili Francouzi Fourneyron a Bourdin v roce 1835 poprvé centrifugální odstředivou turbínu [6]. Tento vodní motor pracoval plných 30 let až do roku 1865. V roce 1849 prezentoval Američan J. B. Francis svoji turbínu s regulovaným rozváděcím kolem a pevným oběžným kolem určenou pro střední a vyšší spády. Další Američan L. A. Pelton navrhl v roce 1880 svoji rovnotlakou turbínu pro vyšší měrnou energii a menší průtok. V roce 1919 představil a také patentoval profesor vysoké školy technické v Brně Victor Kaplan svislou přetlakovou turbínu pro vyšší průtoky a nízké spády, která se vyznačuje regulací oběžného i rozváděcího kola turbíny, dobrou účinností v širokém rozsahu průtoků a instalací sací trouby[7].

Vodní stroje jsou poháněny dynamickou energií vody, přiváděné k turbíně derivací, která může být potrubím nebo kanálem s volnou hladinou. V prvním případě ústí potrubí do tlakové spirální nebo kotlové skříně turbíny. V druhém případě vede otevřený náhon vodu do kašny s volnou hladinou, ve které je umístěn vlastní vodní motor. Voda potom teče z pevného rozvaděče přes regulační lopatky rozváděcího kola na oběžné kolo. Po průchodu oběžným kolem turbíny voda teče většinou do sací trouby a z ní odtéká do odpadního kanálu s volnou spodní hladinou. V rozšiřující se sací troubě se snižuje rychlost vody, čímž voda předává další svoji kinetickou energii. Rozšiřování sací trouby musí být navrhováno i s ohledem na kavitační působení vody, kdy jde o kompromis s délkou sací trouby a tím se ztrátami způsobenými třením. Kavitaci lze omezit také umístěním oběžného kola pod úroveň hladiny spodní vody nebo volbou vhodného odolného materiálu exponovaných dílů vodní turbíny. Potrubní přivaděč u rovnotlakých vodních turbín (např. Peltonova turbína) ústí v dýze (trysce) nebo v kruhovém potrubí s několika dýzami (2 až 6), ze kterých voda v atmosférickém prostředí proudí na oběžné lopatky Peltonovy turbíny a volně odpadá k dolní hladině.



Obrázek 2 Montáž automatiky Peltonovy turbíny v Rakouských Alpách.

2 Rozbor problematiky řízení malých vodních elektráren

2.1 Historie ovládání malých vodních elektráren.

V minulosti byly malé vodní elektrárny konstruovány pouze jako obslužné, kdy jejich provoz celých 24 hodin zajišťovala obsluha lidskou rukou. S rozvojem a obnovou nových malých vodních elektráren v osmdesátých letech minulého století u nás se objevily snahy o automatické bezobslužné provozování těchto zařízení (popř. jen s minimálním občasným dozorem, který zajistí monitorování provozu zařízení malé vodní elektrárny a předepsané kontroly a revize strojního a elektrického zařízení).

Při řešení automatického provozu MVE stojí proti sobě potřeba malých pořizovacích nákladů a požadavek automatického provozu s vysokým standardem pro obsluhu s nižším odborným vzděláním. Ve skutečnosti skutečné provedení řídicího systému ovlivňuje celá řada finančních, organizačních, technických a bezpečnostních požadavků.

Celá koncepce řešení automatizační části vychází a navazuje na konkrétní strojního řešení malé vodní elektrárny. Právě strojní část předurčuje, zda automatika bude klidová nebo činná, rozsah sledovaných strojních poruchových stavů, počty ovládacích prvků, základní počet a způsob monitorovaných parametrů a neelektrických veličin a určuje třeba i návrh ovládacího napětí. Příliš složité řešení strojních skupin malé vodní elektrárny vede k složitějšímu a méně přehlednému návrhu automatiky stroje, kdy jde často o snahu eliminovat chyby při strojním a stavebním návrhu malé vodní elektrárny.

Klidové řešení systému řízení stroje znamená, že stroj je ve funkci po celou dobu trvání příkazu. Například má-li být tlačítko zapnuté, musí být trvale pod napětím jemu odpovídající vstup. V případě vypnutí tohoto vypínače nebo při ztrátě napětí dojde k vypnutí příslušného vstupu. Při klidové automatice musí při výpadku ovládacího napětí technologické zařízení přejít bezpečně do vypnutého stavu. U malých vodních elektráren, které nemají trvalou obsluhu, je nutné používat klidové řešení automatického řídicího systému.

Činnému řešení automatiky odpovídá, provedení kdy pro provedení odpovídající akce musí přijít povel. Při činné automatice v okamžiku ztráty napětí technologie zůstane ve stavu, ve kterém byla před výpadkem ovládacího napětí. Činné řešení ovládání se použije většinou u velkých elektráren, kde je s trvalá a odborná obsluha, která musí v případě ztráty napětí ručně reagovat a celou vzniklou situaci vyřešit.

Struktura automatiky strojního zařízení v sobě obsahuje několik základních prvků. Jedná se o sekvenční ovládání zařízení, o bezpečnostní část automatiky, o regulační smyčky řídicího systému, o pomocné obvody, o provozní měření, monitorování a archivaci provozních dat, o provozní zobrazování a o hlášení poruchových stavů, popř. o komunikaci s nadřazenými automatikami a dispečinky s dálkovým řízením. Do obvodů sekvenčního automatu by neměly

být zahrnuty čistě zabezpečovací funkce, jako jsou například elektrické ochrany elektrických obvodů apod. Tyto zabezpečovací funkce by měly být řešeny v zabezpečovacím automatu pouze, pokud je automat dokáže bezpečně řešit zároveň s ostatními požadovanými funkcemi. V takovém případě musí mít tyto zabezpečovací funkce nastavenou dostatečnou prioritu řešení před ostatními funkcemi.

Sekvenční ovládání strojního zařízení v sobě obsahuje postup ovládání při spouštění soustrojí, při poruchách stroje i při provozním vypínáním. Startovací a vypínací sekvence musí řešit postup ovládání jednotlivých členů strojní automatiky (uzávěry, hydraulické rozvaděče, generátory apod.) a elektrických prvků (spínačů, relé, stykačů apod.). V rámci postupu jsou prováděny i kontroly plnění podmínek pro další následování chodu. Jedná se o kontroly připojení pohonu, tlaku hydrauliky, mazání stroje, hladiny vody apod. Sekvenční ovládání stroje je zakončeno uvedením stroje do provozního režimu nebo naopak do klidového režimu.

Zabezpečovací smyčky automatiky obsahují snímání sledovaných neelektrických veličin a při signalizaci poruchové hodnoty zajistí odpovídající reakci. Obvykle se jedná o překročení tlaku, hladiny, teplot, proudu, napětí, nebo výkonu apod. Při dosažení signalizační úrovně smyčka zabezpečovací automatiky vyše varovný signál. Při dosažení kritické hodnoty smyčka zabezpečovací automatiky sama zabezpečí přímou cestou odstavení, uzavřením potřebných ovládacích prvků, vydává povel k vypnutí soustrojí a provede poruchové hlášení vzniku poruchy. Mezi obvody zabezpečovací automatiky patří i červené ovládací tlačítko STOP.

Regulační obvody automatiky v sobě zahrnují regulaci výkonu, regulaci provozní hladiny, regulaci otáček u synchronních strojů, skupinovou regulaci a optimalizaci provozu více strojů v kaskádě i vedle sebe apod.

Provozní měření obsahuje měření a archivaci vybraných elektrických i neelektrických veličin a jejich analogové nebo digitální zobrazování. Jedná se o měření tlaků, teplot, otáček, hladin, měření výkonu, proudu, napětí, účinníku, kmitočtu apod. [3]. Rozsah provozního měření je dán složitostí strojního zařízení, požadavky provozovatele distribuční soustavy a požadavky obsluhy. Většinou je rozsah provozních měření u malých vodních elektráren poměrně malý, neboť se jedná zpravidla o elektrárny bez trvalé obsluhy s vysokým stupněm automatizace.

Mezi provozní měření patří i bilanční měření vyrobené energie a vlastní spotřeby elektrické energie pomocnými elektroměry, připojenými např. na vývodu vlastního generátoru. Jedná se o orientační měření pro provozovatele a obsluhu. Např. elektroměr měřící spotřebu jalové energie velice často slouží obsluze pro nastavení a kontrolu správné funkce kompenzačních kondenzátorů resp. buzení u synchronních generátoru. Skutečné fakturační měření výroby elektrické energie celé elektrárny je na rozhraní majetku provozovatele distribuční sítě, a je umístěno v samostatné elektroměrovém rozvaděči zpravidla s dálkovým vyčítáním přes modem GSM.

2.2 Signalizace pro potřeby obsluhy u soustrojí malé vodní elektrárny.

Místní provozní signalizace je u malých vodních elektráren s automatickým provozem redukována obdobně, jako rozsah měření provozních veličin. Většinou jsou zobrazovány pouze základní provozní režimy, jako např. připravenost soustrojí k najíždění, chody menších nebo vzdálených zařízení (stavidla, čisticí stroje, hydraulické agregáty, čerpadla mazání, apod). Signalizace poruchových stavů soustrojí je většinou viditelnější než provozní měření, protože má při příchodu obsluhu rychle informovat o příčině, proč není soustrojí v provozním stavu. Základním pravidlem použití signalizace poruch soustrojí je, že musí být trvalá, informace o poruše nesmí zaniknout. Signalizace poruch se prováděla padáčkovými relé, kontrolkami, houkačkami a zvonky, v současné době jsou nahrazovány informačním hlášením na monitorech, zápisem do alarmů a hlášením přes SMS zprávy na mobilní telefon, GSM modemy nebo komunikaci přes internet.

2.3 Přístrojové řešení automatiky.

V nedávné minulosti byla většina automatik u malých vodních elektráren řešena pouze reléovou technikou. Takové automaty uvnitř zahrnovaly jak sekvenční automatiky, tak logiku bezpečnostních obvodů. Obvykle byl základem celého reléového automatu právě bezpečnostní automat, nebo bylo soustrojí ovládáno ručně obsluhou s mechanickým regulátorem a veškerá automatika byla pouze zabezpečovací. U malých jednoduchých elektráren tak byly obvody automatiky redukovány pouze na jedno nebo dvě relé, která hlídala přítomnost napětí v rozvodné síti.

V současné době s vyššími nároky na spolehlivost provozu zařízení a hlavně s cenovou dostupností programovatelných automatů, malých odolných počítačů, komunikačních prostředků a převodníků potřebných neelektrických veličin se většina automatik i u malých vodních elektráren řeší s použitím této moderní technologie. Na trhu je nyní celá řada zařízení různých výrobců, které je možno pro řešení použít. Jednotlivá řešení se liší výkonem, poskytovanou podporou a cenami i spolehlivostí. Při navrhovaném řešení je nutné klást důraz na jednoduchost, spolehlivost a přehlednost i možnost servisu. Velké množství možností a znepřehledňuje ovládání a zásahy obsluhy. Je třeba si uvědomit, že celou životnost zařízení je stroj v chodu a obsluha provádí pouze občasnou kontrolu, při které potřebuje přehledné a rychlé informace o provozu, o dodržování požadovaných parametrů, chybách, hrozbách, popřípadě informaci o množství vyrobené energii. V případě, že dojde k výjimečné situaci, obsluha většinou nezná, co všechno jí zařízení nabízí a umožňuje, neboť tyto situace dlouhodobě neřešila. V takové situaci musí být informace a komunikace automatu jednoduchá a jednoznačná.

2.4 Přifázování generátoru k rozvodné síti.

Při spouštění je soustrojí spínáno k síti výkonovým spínacím prvkem, většinou stykačem. Je kladen velký důraz k omezení nežádoucích negativních vlivů zařízení na distribuční síť, tedy i při fázování generátoru. Způsob připojení soustrojí k síti je zásadně rozdílný u asynchronních

a synchronních generátorů. U většiny MVE se používají asynchronní generátory, kde je postup fázování jednodušší.

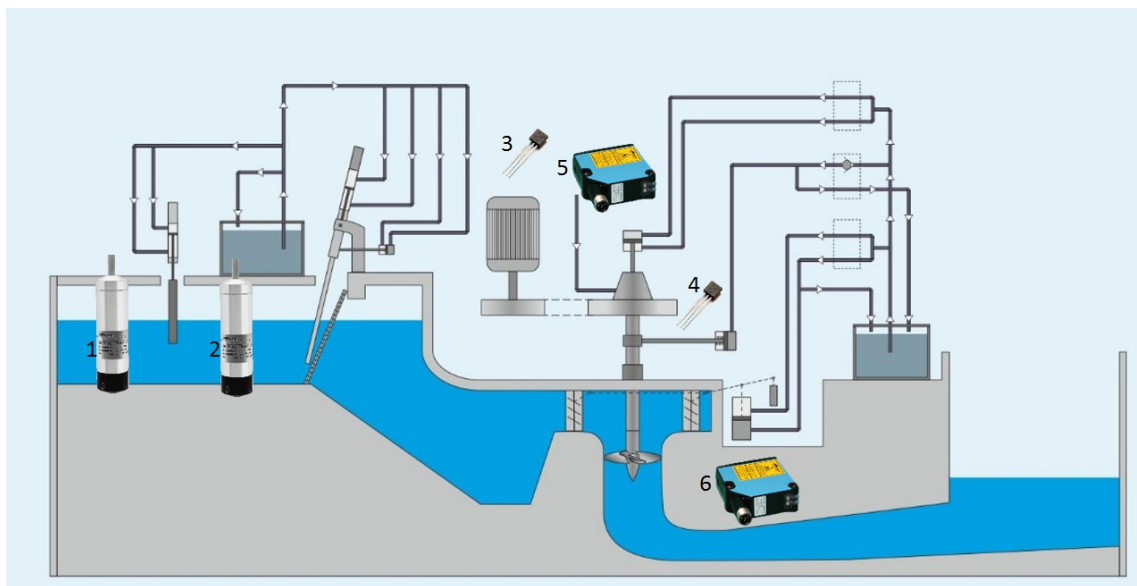
U fázování asynchronních generátorů je potřeba minimalizovat první proudový náraz, a to snížením nebo úplnou eliminací činné složky tohoto proudu. Proto je třeba porovnávat frekvenci napětí rozvodné sítě s otáčkami asynchronního generátoru a impuls k přifázování generátoru je vydán až po vyrovnání obou kmitočtů. Signál o frekvenci asynchronního generátoru pro stykač je možno měřit jako informaci o otáčkách stroje, popř. lze měřit frekvenci malého napětí, které se indukuje ve vinutí asynchronního generátoru vybuzením z remanentního magnetizmu stroje. Takto fázovaný generátor je připojen k síti pouze s krátkým magnetizačním nárazovým proudem bez činné složky.

Ve skutečnosti je sled fází sítě a generátoru prověřován jen před prvním fázováním zařízení do sítě při uvádění soustrojí do provozu, popř. po provedení oprav, kdy by mohlo dojít k opačnému zapojení ovládacích nebo silových obvodů MVE.

Měření elektrických veličin zahrnuje měření pro potřeby informování obsluhujícího personálu o stavu soustrojí, měření pro potřeby automatického řízení a bezpečnostních obvodů, měření pro dálkové zpracování v dispečinku a měření vyrobené činné energie pro potřeby fakturace, a také spotřebované jalové energie. V současné době se využívají moderní mikroprocesorem řízené analyzátory sítě a kombinované multimetry s řadou integrovaných funkcí a pokročilou komunikací.

2.5 Snímače neelektrických veličin.

V závislosti na složitosti a rozsahu návrhu strojního zařízení jsou na malé vodní elektrárně instalovány snímače různých neelektrických veličin.



Obrázek 3 Příklad měření neelektrických veličin u MVE 1, 2- měření výšky hladiny, 3, 4- teplota, 5, 6 – poloha otevření OK a RK.

Tyto senzory slouží k měření tlaků oleje, teploty vinutí generátoru a ložisek, polohy lopatek, úhlu otevření, výšky hladiny vody, otáček. Výstupem u všech snímaných veličin může být analogová hodnota nebo pouze dvouhodnotová informace. Charakter signálu je dán zejména účelem, ke kterému je určený. Měření neelektrických veličin je důležité i pro informování obsluhy o provozu technologie, pro potřeby automatického řízení a pro obvody bezpečnostní automatiky a pro dálkové ovládání.

2.6 Obecné požadavky na řídicí systém malévodní elektrárny.

Na řídicí systém samostatně ovládající malé vodní elektrárny klademe tyto požadavky:

- zajištění bezpečného chodu soustrojí generátor - turbína a zajištění předepsaného asanačního minimálního průtoku přes jezové těleso;
- regulace vodního motoru pro optimální využití potenciálu vody, která je k dispozici;
- archivace údajů o provozu malé vodní elektrárny pro vyúčtování vyrobené elektrické energie a generování statistických výkazů o provozu malé vodní elektrárny.

Nejdůležitější je zabezpečení bezpečného chodu soustrojí generátor – turbína. Pokud by toto řídicí systém nemohl zajistit, znamenalo by to ohrožení zařízení nejen MVE, ale i třeba zatopení okolních pozemků a nemovitostí, nebo dokonce ohrožení životů osob. Druhý a třetí požadavek již neznamena bezprostřední ohrožení majetku ani osob. Pokud dokáže řídicí systém malé vodní elektrárny samostatně a správně reagovat, ušetří majiteli náklady a přinese vyšší množství vyrobené elektrické energie.

Archivace údajů o provozu malé vodní elektrárny ovlivňuje její provozování nepřímo. Skládá se ze tří úrovní. Zaznamenávání údajů o vyrobené elektrické energii, ukládání informací o překročení nastavených mezních hodnot sledovaných parametrů provozu malé vodní elektrárny a archivace informací o poruchách a chybách strojního zařízení malé vodní elektrárny. Z tohoto vyplývá, že z dlouhodobějšího pohledu je i archivace informací velice přínosná a důležitá.

Rešerše řešení monitorovací jednotky pro danou oblast.

2.7 Kompaktní jednotka RTU pro dispečerské řízení obnovitelných zdrojů elektřiny.

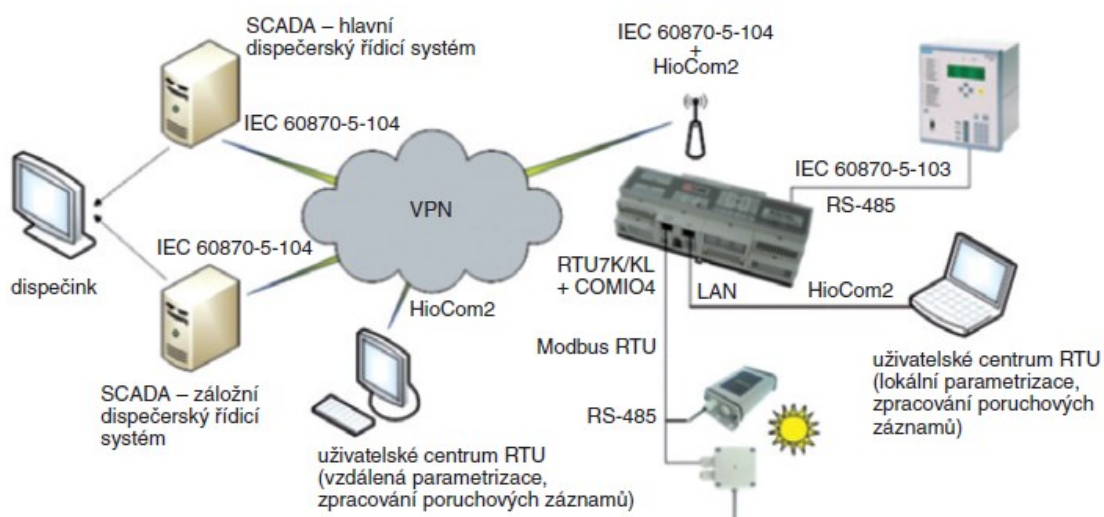
Firma ELVAC a. s. vyrábí pro dispečerské řízení v distribučních sítích kompaktní řadu jednotek RTU. Spolehlivost provozu řídicích jednotek zvyšuje zálohované napájení a možnost zálohovat komunikaci. Jednotky RTU mají analogové a i digitální vstupy, speciální vstupy pro teplotní čidla a spínací reléové výstupy. Jsou navrženy pro jednoduché spojit v čase řídicí a monitorovací úlohy.



Obrázek 4 Kompaktní jednotka RTU pro řízení obnovitelných zdrojů.

Kompaktní jednotka RTU, která je vybavena snímači pro monitorování třífázových napětí a proudů, programovým vybavením pro přesné měření a digitálními vstupy a výstupy pro signalizaci, popř. ovládání a bezpečnost připojených zařízení a indikaci poruch. Tato jednotka disponuje také možností přenosu průběhu signálů na analogových vstupech v okamžiku poruchových událostí, což spolu s širokou nabídkou komunikačních rozhraní umožňuje řešit složité úlohy velice efektivně a úsporně z hlediska ceny zařízení. Kompaktní jednotky RTU, jsou dodávány v plastové krabičce pro montáž na lištu DIN. Konstrukce jednotky je modulární, díky čemuž je velmi univerzální a je možné ji přizpůsobit nárokům a potřebám zákazníka. Výhodou je široká nabídka komunikačních rozhraní, např. GPRS, GSM, Ethernet, RS-232 nebo RS-485, které lze do jednotky osadit v různých variantách a počtech. Na jednotlivých komunikačních portech mohou být nastaveny různé protokoly komunikace. Samozřejmostí je současná komunikace několika protokoly: např. protokolem podle ČSN EN 60870-5-104 do nadřazeného systému a protokolem HioCom2 do parametrizačního programu (vzdálené nastavování, stahování měřených hodnot, přenos poruchových signálů, načtení archivních záznamů, načtení inicializace, upgrade firmwaru atd.). Mezi další

komunikační dovednosti patří různé způsoby zálohování komunikace. Firma ELVAC nabízí také kompletní vybavení dispečerského centra na platformě systému SCADA Mikro dispečink. Tento program pro sledování, řízení a vyhodnocování procesů v reálném čase, který je vhodný především k řízení elektrických sítí velmi vysokého, vysokého a nízkého napětí, pro řízení v rozvodných stanicích a v dispečerských centrech. Tento program je již řadu let využíván v dispečerských centrech i v rozvodných stanicích, přičemž je pravidelně vylepšován a rozvíjen. Mikro dispečink je provozován v desítkách rozveden společnosti ČEZ Distribuce v České republice, další projekty jsou realizovány nebo se připravují.



Obrázek 5 Komunikační možnosti jednotky RTU.

2.8 Modul RTU pro dispečerské řízení (Bridge-104) [9].

Bridge-104 je jednotka RTU fy UNIMA-KS navržená k řízení výkonu zdroje nadřazeným střediskem distribuční sítě pomocí sítě GSM/GPRS a poskytování základních informací o zdroji (napětí, proudy, účinník, činný výkon, jalový výkon, rychlost větru, teplota, tlak, osvit atd.) zpět na řídicí centrum distribuční sítě.

Tento modul je určena pro komunikaci se zařízeními UNIMA-KS (řídící systémy, síťové ochrany atd.) se kterými si přes komunikační rozhraní RS-485 poskytuje potřebné informace (neosazuje se další měření výkonu) a přes které také ukládá do řídicího systému maximálně povolené hodnoty činného výkonu či požadovaný účinník. V případě komunikace se zařízeními UNIMA-KS jde pouze o konfigurovatelný komunikátor RS-485 na komunikační protokol IEC 60870-5-104[5].

V případě připojení k jiným zařízením, lze údaje, které je třeba posílat na dispečink přivést do Bridge-104 pomocí proudových signálů 0-20mA [9].

Základní vlastnosti

- Kompaktní rozměry (instalace na DIN lištu)
- Širokorozsahové napájení $10\div 33\text{DC}$ nebo $8\div 24\text{AC}$
- 8x binární vstup
- 8x binární výstup
- 4x analogový vstup $-20\div 20\text{mA}$
- Komunikační rozhraní s protokolem IEC 60870-5-104.
- Funkce pro snadné vytváření sekvenčních uživatelských algoritmů
- Komunikační rozhraní RS-485 (UnimaBUS) pro čtení měřených veličin a zápis regulace P, Q
- Kontrola komunikace s dispečinkem
- Nastavování parametrů a příkazů protokolu IEC 60870-5-104 (adresy IEC, odchylky pro spontánní přenos atd.)
- Lze posílat hodnoty připojené k analogovým (binárním) vstupům Bridge-104 či hodnoty vygenerované interním PLC
- Je možno přenášet i analogové (binární) veličiny z jiného zařízení UNIMA-KS či z analogové (binární) z rozšiřující karty



Obrázek 6 Modul RTU pro dispečerské řízení (Bridge-104) [9].

3 Návrh a realizace měřicí a monitorovací části.

Cílem je realizace systému pro monitorování a dispečerské řízení vodní elektrárny. Součástí práce je analýza a implementace monitorovacího systému pro embedded zařízení, přizpůsobení komunikačního protokolu pro zařazení do stávajícího informačního systému a návrh a realizace dispečerského rozhraní.

Pro realizaci měřicí a monitorovací části byl jako základ navržen počítač Raspberry Pi. Tento počítač dále komunikuje s řídicím systémem MVE, analyzátozem sítě a je připojen pomocí veřejné adresy v síti internet. Pro zasílání varovných SMS zpráv je dále vybaven GSM modemem.

3.1 Popis Raspberry Pi.

Pod pojmem Raspberry Pi se skrývá opravdu miniaturní počítač. Velikostí jej lze přirovnat k obyčejné platební kartě. Vyvíjí ho britská nadace Raspberry Pi Foundation s cílem podpořit výuku informatiky ve školách. Jeho základem je SoC BCM2835 firmy Broadcom, který obsahuje centrální procesor ARM1176JZF-S s taktem 700 MHz, grafický procesor VideoCore IV. Já jsem použil model B+ s 512 MB paměti RWM (RAM). Naopak neobsahuje žádné rozhraní pro pevný disk nebo SSD – pro zavedení systému a trvalé uchování dat je určen slot na micro SD kartu [4].

Parametry zařízení:

- SoC: Broadcom BCM2835 (CPU + GPU + SDRAM)
- Paměť (SDRAM): 512 MB
- CPU: 700 MHz ARM11 ARM1176JZF-S core
- USB 2.0 porty: 4 (přes integrovaný USB hub)
- GPU: Broadcom, VideoCore, IV, OpenGL ES, 2.0, OpenVG, H.264 high-profile encode/decode
- Audio výstup: 3,5 mm jack, HDMI
- Video výstup: kompozitní video, kompozitní RCA, HDMI (nelze využít vše najednou)
- Audio vstup: není, je ale možno připojit USB mikrofon nebo zvukovou kartu (nutná patřičná konfigurace v OS)
- Síťový adaptér: 10/100 Mb Ethernet RJ45
- Příkon: 700 mA, (3.5 W)
- Napájení: 5 V (DC) přes Micro USB typ B nebo GPIO piny
- Rozměry: 85.60 mm x 53.98 mm



Obrázek 7 Raspberry Pi B+[4].

3.2 Připojení modemu

Pro posílání havarijních SMS zpráv byl k zařízení Raspberry PI připojen USB 3G modem typu Huawei E303. Je třeba provést instalaci tohoto modemu do zařízení Raspberry Pi.

Pomocí příkazu `lsusb` poskytne zařízení více informací o připojených USB zařízeních. Po otevření okna terminálu je třeba zadat příkaz `lsusb` a výstup by měl vypadat nějak takto:

```
Bus 001 Device 002: ID 0424:9512 Standard Microsystems Corp.  
Bus 001 Device 001: ID 1d6b:0002 Linux Foundation 2.0 root hub  
Bus 001 Device 003: ID 0424:ec00 Standard Microsystems Corp.
```

```
Bus 001 Device 010: ID 12d1: 14d1 Huawei Technologies, Ltd
```

Na posledním řádku bylo napsáno:

```
Bus 001 Device 010: ID 12d1: 14d1 Huawei Technologies, Ltd
```

3G modem obsahuje instalátor pro Windows. RPI označil 3G modem jako úložné zařízení ještě před tím než rozlišil, že se jedná o USB 3G modem. Pro odstranění tohoto nedostatku je třeba nainstalovat nástroj `usb modeswitch`. Pro instalaci `USB-modeswitch` bylo třeba provést úpravu v souboru `/ etc / usb_modeswitch.conf`. ID USB modemu je ve výstupu "`lsusb`". Bylo třeba najít správné ID (druhá část) pro 3G modem. Je třeba zadat příkaz:

4 Návrh a implementace řídicího softwaru.

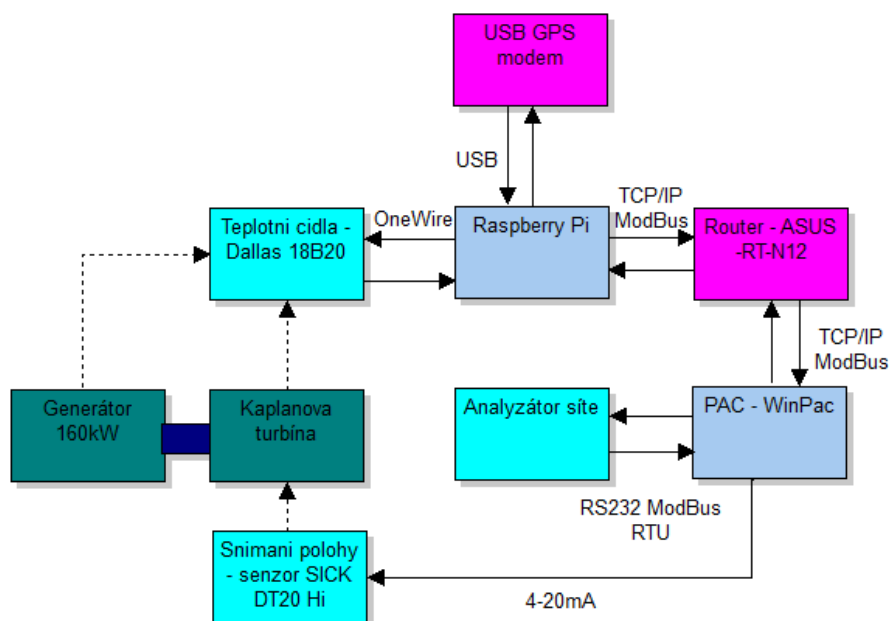
Provoz a řízení malé vodní elektrárny je jednou z částí realizované sítě malých vodních elektráren, které mají společnou vizualizaci v programu od firmy mySCADA Technologies s. r. o. K vytvoření vizualizační aplikace byl pro jednotnost použitý software myPROJECT Designer od firmy mySCADA Technologies s.r.o. Tento software je multiplatformní, umožňuje komunikaci s mnoha typy PLC včetně Ethernet/ IP, Siemens S7, Modbus, Melsec, Toypuc a OPC UA [2]. Podporuje webové standardy jako je HTML5, JavaScript a SVG. Pracuje na libovolném zařízení od stolních počítačů, operátorských panelů, serverů, smartphonů a tabletů, nebo na mini kompaktních počítačích jako je Raspberry. Software mySCADA používá vektorovou grafiku, díky níž lze zobrazovat stejnou aplikaci na různých zařízeních s odlišným rozlišením zobrazování.

4.1 Návrh

Požadavky na návrh monitorování:

- Vizualizace musí zobrazovat všechny naměřené a vypočtené hodnoty, které přehledně zobrazí.
- Zobrazovat stavy a chod jednotlivých částí technologie.
- Zobrazení a archivace časových trendů všech zobrazovaných hodnot.
- Informovat o procesních a systémových podmínkách pomocí varovných a alarmových hlášení, popřípadě poslat varovnou SMS.
- Zobrazovat a editovat provozní parametry umožňující nastavení regulace, servisních intervalů, varovných a alarmových stavů.

Vizualizace řízení by měla co nejvíce odpovídat provozované technologii a spolu s jejími hlavními ovládacími a měřicími prvky by měla být zobrazována nejlépe na jedné obrazovce. Ve spodní polovině obrazovky by měla být zobrazena technologie MVE a hodnoty měřených částí umístěných uvnitř uzavřeného prostoru. V horní polovině by měly být zobrazeny ostatní měřené a vypočtené hodnoty spolu s ovládacími prvky a signalizací poruch a varování. Budou zde i ovládací prvky pro zobrazení všech ostatních obrazovek vyskytující se ve vizualizaci. Celkové schéma navrženého monitorovacího systému je v následujícím obrázku.



Obrázek 9 Blokové schéma monitorovacího systému MVE.

Ovládání provozu zařízení bude provedeno třípolohovým přepínačem zobrazující režimy (ruční, automatický, vypnuto). Ovládání spouštění v ručním režimu bude provedeno pomocí dvou tlačítek, pro startování a pro zastavení.

4.2 Realizace

Realizace monitorování byla provedena v softwaru MyPROJECT Designer verze 6. 2. 18. Byla v něm navržena komunikace s řídicím systémem REX, který řídí celou MVE a vytvořeny tagy pro přenos hodnot pomocí protokolu Modbus TCP. Komunikace s teplotními snímači, zasílání chybových a informačních SMS zpráv. Pro zobrazení a ovládání byly sestaveny obrazovky se zakreslenou technologií obsahující ovládací a zobrazovací prvky. Byly vybrány hodnoty, pro něž jsou nastavena alarmová hlášení o jejich stavu.

4.3 Popis vizualizace

Vizualizace je tvořena systémem obrazovek a dialogových (ovládacích) oken. Obrazovky se vždy skládají z obsahové části nad kterou je navigační lišta. Přepínání mezi jednotlivými

obrazovkami se provádí kliknutím na jméno požadované obrazovky uvedené v navigační liště. Jednotlivé základní obrazovky jsou:

Obrazovka provozu turbíny.

Obrazovka ovládání jezu.

Obrazovky parametrů turbíny.

Obrazovka parametrů sítě.

Obrazovka dispečerského rozhraní

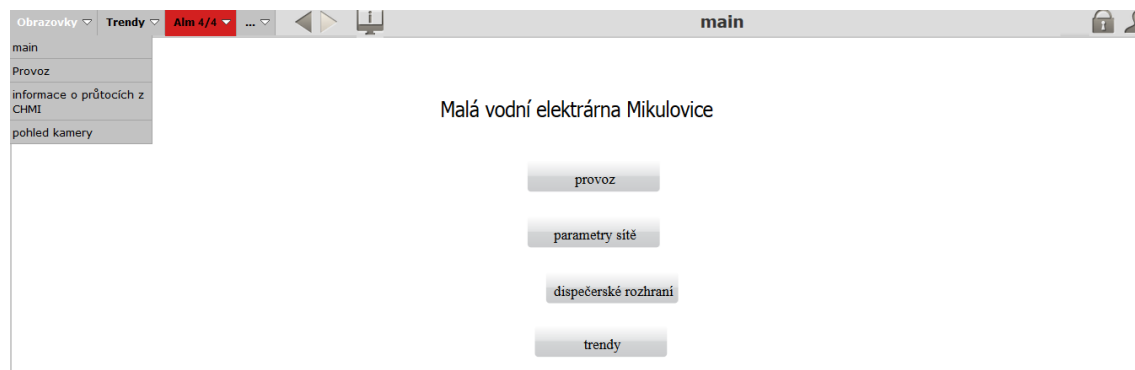
Obrazovky teplotních limitů pro vyhlášení alarmů a poruch (+ motohodiny).

Obrazovka alarmů (+ nastavení telefonů pro SMS).

Obrazovka grafů měřených hodnot - trendů.

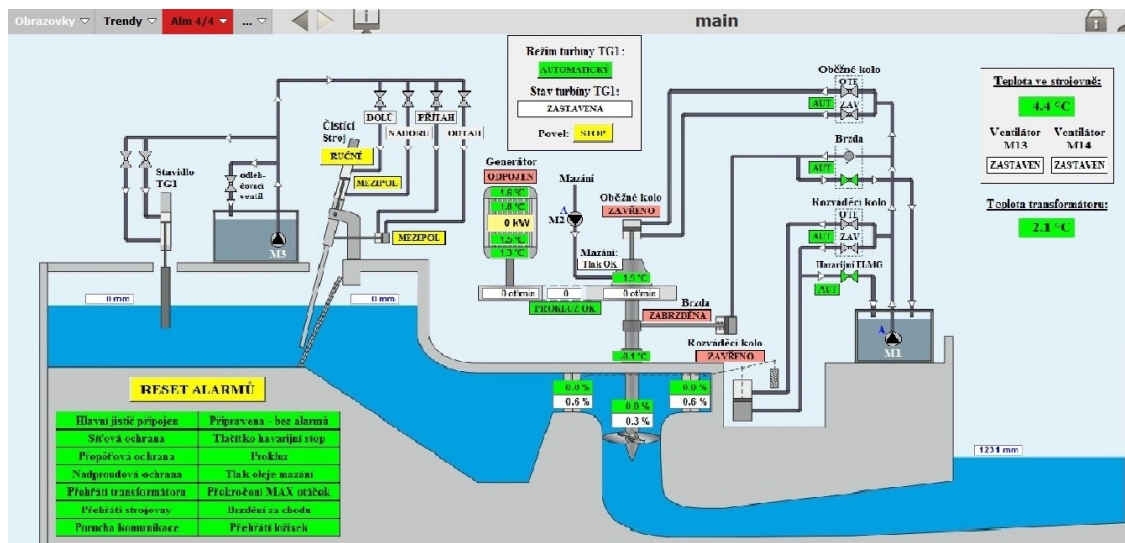
Obrazovka kamery

Obrazovka informací o průtocích



Obrázek 10 Úvodní obrazovka monitorovacího systému.

Z technologické obrazovky turbíny se provádí veškeré přímé zásahy do provozu turbíny: start a zastavení turbíny, přepínání režimů, ruční ovládání jednotlivých částí technologie (elektromagnety, čerpadla,...). Celý technologický celek turbíny je zde graficky znázorněn se zobrazením jednotlivých měřených hodnot a stavů.



Obrázek 11 Obrazovka provozu turbíny.

Zobrazení teplot je doplněno barevným podkladem, jehož barva se mění podle dosažené teploty:

- zelená: normální teplota
- červená: zvýšená teplota, byla dosažena alarmová hodnota
- červeno-bílá blikající: byla dosažena hodnota pro odstavení z důvodu přehřátí

Základní stavy provozu turbíny jsou:

- Zastavena (je možno ruční ovládání)
- Spouštění (sekvence automatického spuštění a přirázování turbíny, najetí na výchozí výkon)
- V chodu (aktivní regulace – hladinová nebo výkonová)
- Zastavování (standardní zastavení – tlačítkem nebo minimálním výkonem)
- Havarijní zastavení (při poruše)

Během fáze spouštění nebo chodu lze některá zařízení ovládat ručně (rozdávčí lopatky, oběžné kolo), přepnutím pouze tohoto zařízení do ručního režimu.

4.4 Řízení turbíny – ruční režim

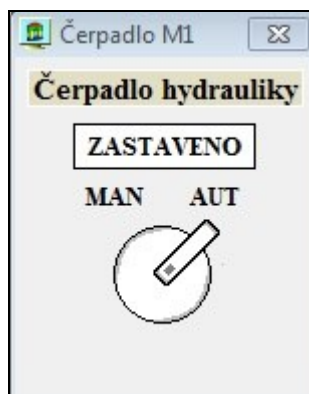
Ruční režim je možno provozovat jen při odstavené turbíně – stav „ZASTAVENA“. V ručním režimu lze ovládat jednotlivé zařízení turbíny, ale není možno ji připojit na síť a

aktivovat regulaci. Pokud bude za provozu (spouštění, chod) turbína přepnuta do ručního režim, tak se odstaví.

Kliknutím na jednotlivé zařízení na technologické obrazovce turbíny se zobrazí/skryjí dialogová okna pro ruční ovládání těchto zařízení:

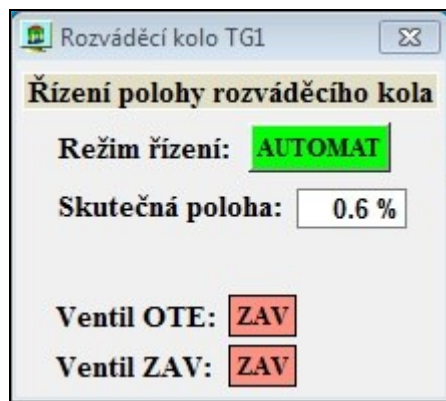
- Čerpadlo hydrauliky M1
- Čerpadlo mazání ložisek M2
- Havarijní elektromagnetický ventil hydrauliky
- Ventil brzdy
- Rozváděcí kolo
- Oběžné kolo

Tyto dialogová okna slouží k přepínání mezi automatickým a ručním režimem jednotlivých zařízení a k jejich ovládání v ručním režimu. Čerpadla je možno v ručním režimu spouštět a zastavovat.



Obrázek 12 Ovládání čerpadel.

Po přepnutí rozváděcí kola do ručního režimu lze zadat požadovanou polohu otevření [%]. Řídicí systém pomocí otevírání a zavírání ventilů nastaví rozváděcí kolo na požadovanou polohu. Podmínkou funkčnosti ručního režimu je, aby bylo čerpadlo hydrauliky v automatickém režimu a aby byly uzavřeny zabezpečovací ventil a ventil brzdy (jinak nevzroste tlak do ventilů rozváděcího kola).



Obrázek 13 Ovládání rozváděcího kola.

V automatickém režimu se poloha oběžného kola nastavuje podle aktuální polohy rozváděcího kola na základě převodní tabulky (na obrazovce parametrů turbíny). Po přepnutí do ručního režimu lze zadat požadovanou polohu otevření [%]. Řídicí systém pomocí otevírání a zavírání ventilů nastaví oběžné kolo na požadovanou polohu. Podmínkou funkčnosti ručního režimu je, aby bylo čerpadlo hydrauliky v automatickém režimu a aby byl ventil brzdy uzavřen (jinak nevzroste tlak do ventilů oběžného kola).

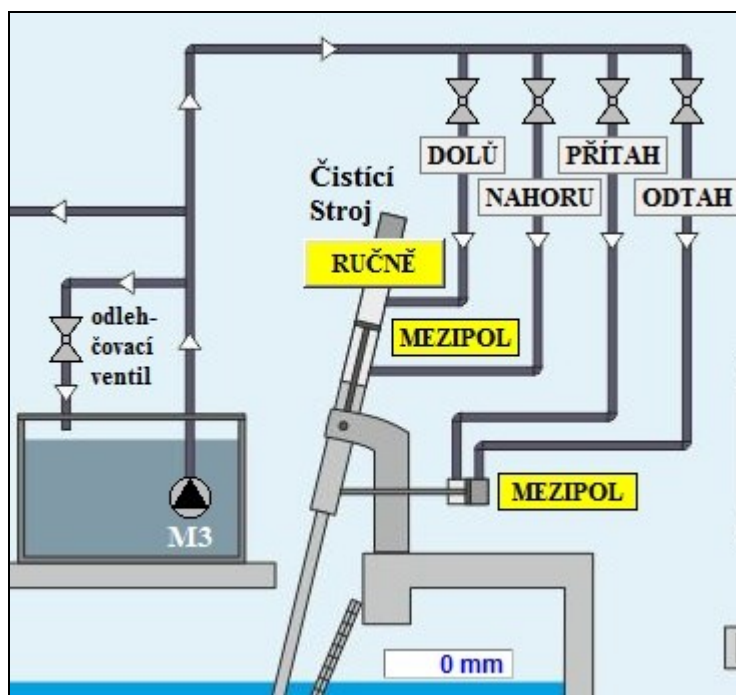
Na technologické obrazovce turbíny je zobrazen aktuální stav čistícího stroje (česlí) dané turbíny. Jsou zde zobrazeny stavy:

- Čerpadla hydrauliky česlí a odlehčovacího ventilu
- Ventilů pro dosažení jednotlivých poloh stroje
- Aktuální polohy stroje (koncové)
- Režim čistícího stroje

Na technologické obrazovce turbíny je zobrazen aktuální stav čistícího stroje (česlí) dané turbíny. Jsou zde zobrazeny stavy:

- Čerpadla hydrauliky česlí a odlehčovacího ventilu
- Ventilů pro dosažení jednotlivých poloh stroje
- Aktuální polohy stroje (koncové)
- Režim čistícího stroje

Pokud je čistící stroj v automatickém režimu, pak je jeho provoz řízen řídicím systémem podle nastavení na obrazovce parametrů turbíny. Pokud je v ručním režimu, pak je ovládán z místní ovládací skříňky. Přepínání mezi ručním a automatickým režimem se provádí tlačítkem na technologické obrazovce turbíny.



Obrázek 14 Obrazovka čistícího stroje

4.5 Parametry regulace turbíny.

Pokud je turbína ve stavu „V chodu“, potom je aktivní jeden ze dvou regulačních režimů: výkonový nebo hladinový. Mezi oběma regulačními režimy lze přepínat tlačítkem „HLADINOVÁ/VÝKONOVÁ REGULACE“. Oba regulační režimy fungují podobně: periodicky se vyhodnocuje rozdíl požadované od skutečné hodnoty (hladiny nebo výkonu), pokud je odchylka větší (v absolutní hodnotě) než minimální, tak se provede akční zásah (otevření nebo zavření rozváděcího kola) s nastavenou intenzitou (délkou impulsu na otevření ventilu rozváděcího kola).

Perioda vzorkování

Perioda vyhodnocování odchylky skutečné od požadované hodnoty (hladiny nebo výkonu). Současně je to i perioda provedení zásahu (změny polohy rozváděcího kola).

Referenční hladina

Žádaná hodnota hladiny za česlemi turbíny pro hladinovou regulaci.

Žádaný výkon

Žádaná hodnota výkonu turbíny pro výkonovou regulaci.

Min hladinová (výkonová) odchylka pro provedení zásahu

Pokud absolutní hodnota odchylky žádané od měřené hodnoty bude menší než tento parametr, tak se neprovede žádný zásah (změna polohy rozváděcího kola).

Velikost akčního zásahu pro otevírání (zavírání) RK

Pokud se řídicí systém vyhodnotí, že musí být proveden zásah do polohy rozváděcího kola, potom tento parametr udává dobu otevření ventilu pro otevírání (zavírání) rozváděcího kola.

The screenshot displays a control interface titled 'main' with a navigation bar at the top. The interface is divided into several sections for configuring turbine parameters:

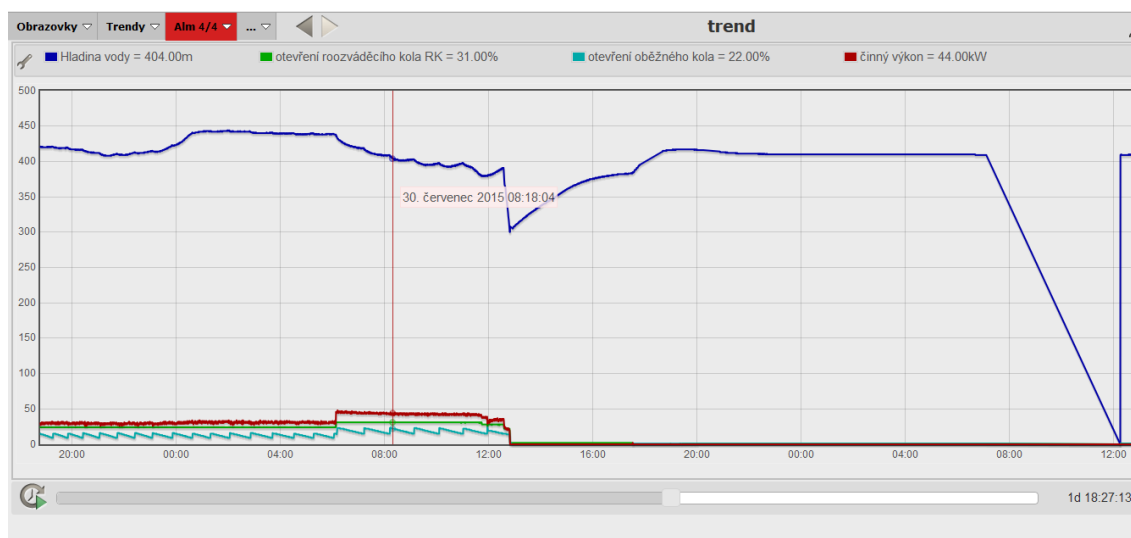
- Regulační režim turbíny:** Set to 'VÝKONOVÁ REGULACE'.
- Hladinová regulace:** Includes fields for 'Perioda vzorkování' (15 sec), 'Referenční hladina' (1500 mm), 'Min. hladinová odchylka pro provedení zásahu' (5 mm), 'Velikost akčního zásahu pro otevírání RK' (1.0 sec), and 'Velikost akčního zásahu pro zavírání RK' (1.0 sec).
- Výkonová regulace:** Includes fields for 'Perioda vzorkování' (15 sec), 'Žádaný výkon' (60 kW), 'Min. výkonová odchylka pro provedení zásahu' (5 kW), 'Velikost akčního zásahu pro otevírání RK' (0.5 sec), and 'Velikost akčního zásahu pro zavírání RK' (0.5 sec).
- Automatický ovládací systém:** Includes 'Povolení automatického ovládacího systému' (ZAKÁZÁN), 'Perioda ovládacího systému' (10 min), and 'Doba ovládacího systému' (30 sec).
- Parametry zastavení turbíny:** Includes 'Otáčky pro aktivaci brzd při zastavování' (150 ot/min), 'Časový limit čekání na brzdné otáčky' (60 sec), and 'Automatický start turbíny' (ZAKÁZÁN).
- Provozní parametry:** Includes 'Maximální otáčky generátoru' (1020 ot/min), 'Min. průtok' (0.000), 'Maximální výkon' (240 kW), 'Rozsah řídicí polohy RK - Minimum' (0.0 %), 'Rozsah řídicí polohy RK - Maximum' (100.0 %), 'Rozsah řídicí polohy OK - Minimum' (0.0 %), 'Rozsah řídicí polohy OK - Maximum' (100.0 %), and 'Automatické zastavení turbíny' (Minimalní výkon: 25 kW, Doba čekání před zastavením: 10 sec).
- Parametry spuštění turbíny:** Includes 'Výkon polohy RK při spuštění turbíny' (15.0 %), 'Min. rychlost otáček' (970 ot/min), 'Jmenovitá otáčka' (990 ot/min), 'Max. rychlost otáček' (992 ot/min), 'Výkon výkon po spuštění turbíny' (30 kW), 'Časový limit spuštění turbíny' (3000 sec), and 'Počet pokusů o spuštění' (2).
- Převod polohy RK na polohu OK:** A table showing the mapping of RK positions to OK positions.

Převod polohy RK na polohu OK										
Poloha rozváděcího kola [%]										
0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0
0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0	100.0

Obrázek 15 Obrazovka nastavení parametrů.

4.6 Trendy

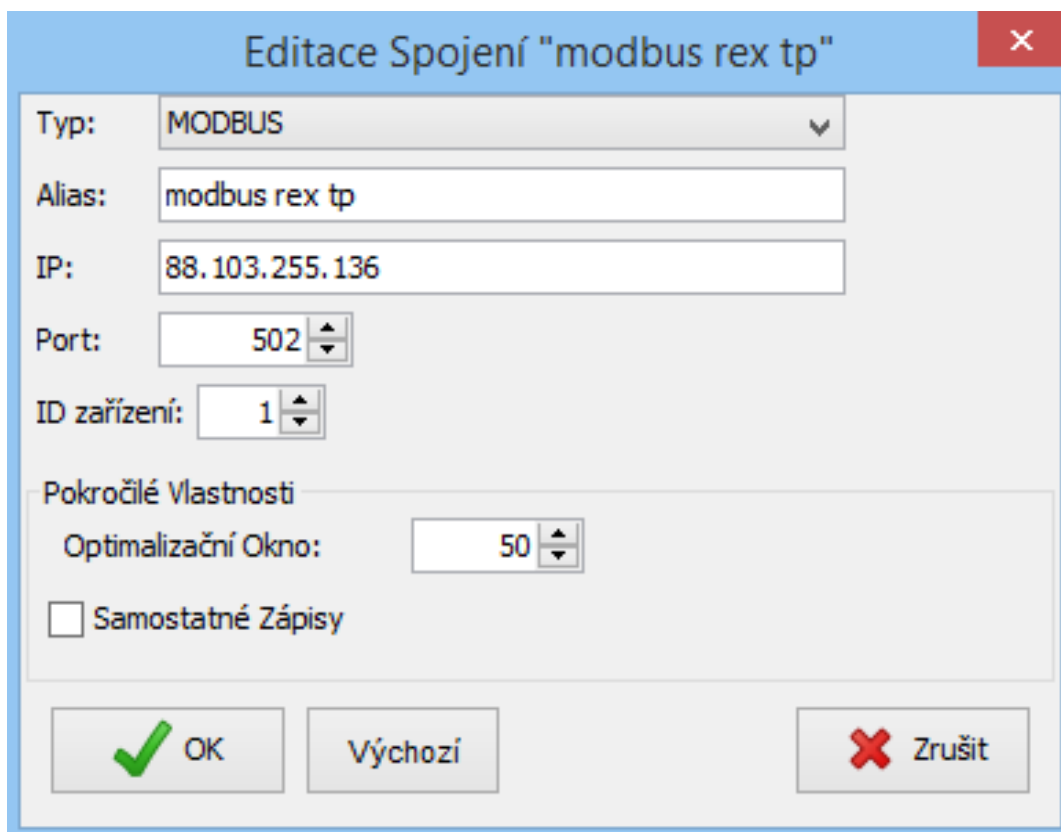
V poslední části byla vytvořena skupina trendů pro možnost zobrazování a ukládání časových údajů vizualizovaných hodnot.



Obrázek 16 Zobrazení trendů.

4.7 Komunikace s řídicím systémem

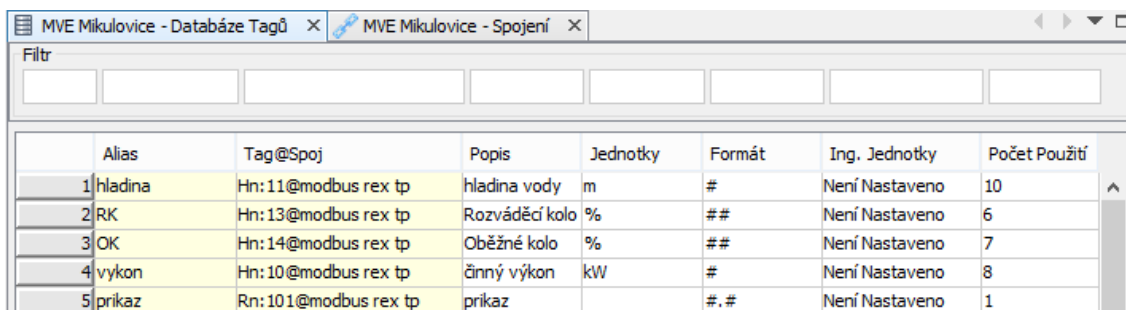
Prvním krokem pro ve vizualizace bylo vytvoření komunikace a nastavení jejích parametrů. Je třeba vytvořit nové spojení a v následujícím okně zadat potřebné parametry, včetně IP adresy zařízení Rexcontrol.



Obrázek 17 Nastavení spojení v myPROJECT Designeru.

4.8 Databáze tagů

V databázi byly vytvořeny tagy odkazující na hodnoty ve WINPAC. Obsahuje aktuální hodnoty všech položek v databázi, které se mohou načítat, ale také zapisovat do PAC. Pro zobrazení a editaci dat z PLC je nutno zadat u každého tagu adresu umístění jednotlivých hodnot a jejich datový typ. V databázi je umožněno každý tag škálovat nebo ho použít jako proměnnou ve vzorci a upravit si tak načítaná data na požadovaná zobrazení.



	Alias	Tag@Spoj	Popis	Jednotky	Formát	Ing. Jednotky	Počet Použití
1	hladina	Hn:11@modbus rex tp	hladina vody	m	#	Není Nastaveno	10
2	RK	Hn:13@modbus rex tp	Rozváděcí kolo	%	##	Není Nastaveno	6
3	OK	Hn:14@modbus rex tp	Oběžné kolo	%	##	Není Nastaveno	7
4	vykon	Hn:10@modbus rex tp	činný výkon	kW	#	Není Nastaveno	8
5	prikaz	Rn:101@modbus rex tp	prikaz		#, #	Není Nastaveno	1

Obrázek 18 Vytvoření Tagů pro komunikaci.

4.9 Skriptové proměnné

Byla vytvořena tabulka skriptových proměnných teploměry pro uložení teplot a časovaný skript teploměry, který se spouští jednou za 5 s a načítá teploty z jednotlivých teploměrů a předává je

monitorovacímu systému. Zde je část skriptu pro jeden teploměr, pro další teploměry je kód obdobný.

```
var fs = require('fs');
fs.readFile('/sys/bus/w1/devices/28-00000609740e/w1_slave', function(err, data) {
    if (err) {
        // console.log('err');
    }
    if (data !== null) {
        var content = data.toString();
        //console.log(content);
        if (content.search('YES') != -1) {
            var pos = content.search('t=');
            //console.log(pos);
            var teplota = content.substr(pos+2, 5);
            // console.log(teplota);
            teplota = teplota / 1000;
            teplomery.teplotaLoziska.value = teplota;
            myscada.writeTag('teplomery.teplotaLoziska', function(status) {
                if (!status) {
                    // console.log('tag write fail');
                } else {
                    // console.log('tag write ok');
                }
            });
        }
    }
});
```

Jméno proměnné	Tag@Spoj/*Alias	Počet Elementů	Typ	Inicializační Hodnota
teplotaLoziska	teplotaLoziska@script	1	Číslo	32
teplotaLoziska1	teplotaLoziska1@script	1	Číslo	32
teplotaLoziska2	teplotaLoziska2@script	1	Číslo	32
teplotaLoziska3	teplotaLoziska3@script	1	Číslo	32
teplotaLoziska4	teplotaLoziska4@script	1	Číslo	32
teplotaLoziska5	teplotaLoziska5@script	1	Číslo	32

Obrázek 19 Skriptové proměnné teploměry.

Obrázek 20 Hlavní obrazovka.

4.10 Posílání SMS zpráv

Pro posílání SMS zpráv byl vytvořen skript SMS, který využívá knihovny gammu [11], doinstalované Raspberry PI. Zde je výpis části skriptu pro posílání SMS zpráv.

```
var exec = require('child_process').exec, child;
myscada.readTable('vstupy',function(status) {
  if (!status) { /* read error processing */
  }
  else {
    /* successful read processing */
    var porucha = vstupy.porucha.value;
    if (porucha == 1) {
      vstupy.porucha.value = 0;
      myscada.writeTag('vstupy.porucha', null);
      child = exec("echo \"mySCADA SMSka\" | gammu --sendsms TEXT +420606780845",
        function (error, stdout, stderr) {
          if (error != null) {
            // error handling
          }
        });
    }
  }
});
```

Zprávy SMS jsou potom posílány na základě aktivace jednotlivých poruchových stavů (alarmů).

4.11 Nastavení routeru

Je třeba nastavit adresy předávání portů v routeru, aby veřejná internetová adresa fungovala správně.

LAN

WAN

IPv6

Server VPN

Firewall

Správa

Systémový záznam

Síťové nástroje

Seznam známých serverů

Prosím vyberte

Seznam známých her

Prosím vyberte

Seznam předávání portů (Max. limit : 32)

Název služby	Rozsah portu	Lokální IP	Místní port	Protokol	Add / Delete
				TCP	+
rex modbus ip	502	192.168.1.70		BOTH	-
rexview	43981	192.168.1.70		BOTH	-
raspberry2	81	192.168.1.72		BOTH	-
raspberry scada	2121	192.168.1.71		BOTH	-
malina	10001	192.168.1.71		BOTH	-
malina upgrade	22	192.168.1.71		BOTH	-
rex disk	21	192.168.1.70		BOTH	-
raspberry sms druhe	80	192.168.1.72		BOTH	-
kamery	85	192.168.1.74		TCP	-

Použít

Obrázek 21 Předávání portů.

5 Návrh a realizace dispečinku.

5.1 Požadavky na přípravu pro dispečerské informace ze strany provozovatele distribuční soustavy.

Provozovatelem distribuční soustavy je většinou společnost ČEZ Distribuce, s. s. nebo EON a. s. Zařízení dispečerské řídicí techniky je v těchto výrobnách instalováno především pro omezování jejich výroby v souladu s § 25, odstavec 3, písmeno d) a § 26 odstavec 5 zákona č. 458/2000 Sb. v platném znění a prováděcí vyhlášky MPO č. 80/2010 Sb. Ve výrobnách s výkonem od 30 do 100 kW bude z výše uvedených důvodů instalován přijímač HDO, ve výrobnách s výkonem 100 kW a více bude instalován přijímač HDO a jednotka RTU.

Základní pojmy.

Přerušení napájení - stav, při kterém je napětí v předávacím místě menší než 5 % dohodnutého napětí. Přerušení napájecího napětí jsou rozdělena na plánovaná a náhodná. Obvykle jsou přerušení způsobena provozem spínacích zařízení a ochran. U více fázových soustav nastane přerušení v případě poklesu napětí pod 5 % referenčního napětí ve všech fázích (jinak se to považuje za pokles).

Plánovaná přerušení - přerušení, při kterých jsou uživatelé elektrické energie předem (předem dohodnutá) informováni. Účinek předem dohodnutých přerušení mohou uživatelé vhodnými opatřeními minimalizovat. Předem dohodnutá Náhodná přerušení - přerušení způsobená trvalými nebo přechodnými poruchami

Pokles napětí - dočasný pokles napájecího napětí v napájecím bodě distribuční přerušeni jsou způsobena obvykle prováděním plánovaných prací na distribuční síti, většinou spojenými s vnějšími vlivy, poruchami zařízení nebo rušením. Poruchová i vynucená přerušeni napájení jsou nepředvídatelnou, z velké části náhodnou událostí soustavy pod prahovou danou počáteční hodnotu. Norma ČSN EN 50160 považuje počáteční prahovou hodnotu rovnou 90 % dohodnutého napětí.

Technické požadavky na zařízení pro regulaci ovládání

V případě ohrožení bezpečného a spolehlivého provozu elektrizační soustavy je nezbytné při dispečerském řízení dočasně omezit nebo odstavit dodávku činného výkonu z výroben elektrické energie.

Požadavky na technické vybavení výroben s výkonem od 30 kW do 100 kW připojených k DS

Pro operativní odpojení zdroje od DS bude použito relé přijímače HDO ovládané z dispečinku provozovatele DS. V oblasti bez signálu HDO bude k regulaci použita jednotka RTU v majetku PDS. Instalace přijímače HDO bude připravena. Regulace činného výkonu bude probíhat stupňovitě v režimu 0 a 100% instalovaného výkonu. Přijímač HDO dodá PDS.

Požadavky na technické vybavení výroben FVE a VTE s výkonem 100 kW a více připojených k DS

Zdroj musí být schopen adekvátně (rychle a přesně) reagovat na povel z dispečinku PDS k omezení činného výkonu na 60, 30 nebo 0% jmenovité hodnoty včetně povelu ke zrušení omezení. Regulace činného výkonu tak bude probíhat stupňovitě v režimu 0, 30, 60 a 100% instalovaného výkonu. Regulace mezi jednotlivými stupni musí probíhat bez přechodu na mezistupeň 100% nebo 0%. Na dispečink provozovatele DS musí být zajištěn přenos měření a signalizace dle níže uvedené specifikace. U zdroje může být požadována plynulá (ne stupňovitá) regulace napětí nebo jalového výkonu (U/Q) podle pokynů dispečinku nebo systémem automatické regulace. V případě dálkového řízení U/Q bude použit standardní komunikační protokol přes komunikační rozhraní řídicí jednotky. Požadavek na regulaci U/Q bude vždy upřesněn na základě výsledků studie připojitelnosti zdroje. Vlastnictví řídicí jednotky RTU je součástí stanovení podmínek připojení, RTU bude v souladu s PPDS požadováno v majetku výrobce, výjimečně může být i v majetku distributora. V případě, že bude RTU v majetku distributora, výrobce připraví napájení 230V AC pro napájení RTU včetně interního dobíječe řídicí jednotky se samostatným jištěním a skříň pro instalaci RTU se svorkovnicí rozhraní. Umístění RTU musí být takové, aby byl umožněn nepřetržitý přístup pracovníkům ČEZ Distribuce, a.s. (ve smyslu PPDS bude ošetřeno v podmínkách připojení). V případě, že bude RTU v majetku výrobce, bude zajištěna komunikace na dispečink standardním předepsaným protokolem. ČEZ Distribuce dodá SIM kartu. Jako hlavní prostředek k regulaci činného výkonu je instalován přijímač HDO, který je v majetku PDS, jako záložní prostředek k tomuto účelu bude využita jednotka RTU.

Doporučené osazení vstupů/výstupů:

Digitální výstupy:

Digitální signalizace stavů všech silových prvků vývodového pole z výroby (dle fyzického osazení):

BI 1 – Odpínač (vypínač) vypnut

BI 2 – Odpínač (vypínač) zapnut

BI 3 - Přípojnicový odpojovač vypnut

BI 4 - Přípojnicový odpojovač zapnut

BI 5 - Vývodový odpojovač vypnut

BI 6 - Vývodový odpojovač zapnut

BI 7 – Vývodový uzemňovač vypnut

BI 8 - Vývodový uzemňovač zapnut

- působení ochran z výroby: BI x – Suma působení ochran

- výpadek jističů: BI x+1 – Výpadek jističů PTN pro ochrany a měření

- signalizace ovládání činného výkonu výroby:

BI n-3 - 100% výkonu

BI n-2 – 60% (75%) výkonu

BI n-1 – 30% (50%) výkonu

BI n - 0% výkonu

BI n+1 Překročení meze P

BI n+2 Odpojení napájení RTU

Kde n – značí poslední obsazený binární vstup

U signálu „Překročení meze P“ je nutno nastavit časové zpoždění signalizace dle reakční doby zdroje na novou požadovanou úroveň. Maximální reakční doba zdroje je 1 min. Delší reakční dobu zdroje lze připustit na základě technického zdůvodnění.

Digitální vstupy:

Slouží pro záložní ovládání činného výkonu výroby:

BO 1 – Bez omezení výkonu (100% výkonu)

BO 2 – Omezení na 60% (75%) výkonu

BO 3 – Omezení na 30% (50%) výkonu

BO 4 – Omezení na 0% výkonu

Stupeň 100% může být odvozen od neaktivních stupňů 60% (75%), 30% (50%) a 0%. Signalizace bude odvozena od maximálního povoleného výkonu daného stupně (100%, 60% (75%), 30% (50%) a 0%), logická funkce musí být řešena v rámci jednotky RTU.

Dále je nutno zajistit v RTU logické funkce ovládání a možnost časově neomezeného sepnutí kontaktů. Logické funkce spočívají v sepnutí požadovaného stupně a vypnutí dříve navoleného. V případě volby 100% bude zrušen předchozí navolený stupeň. Regulace mezi jednotlivými stupni musí probíhat bez přechodu na mezistupeň 100% a 0%. Přepínač místně/dálkově pro regulaci nesmí být osazen.

Analogové výstupy měření:

3x Napětí

3x Proud

Činný výkon

Jalový výkon

ostatní měření:

Venkovní teplota v rozsahu -30 až +40 °C

u FVE od 400 kW Sluneční záření v rozsahu 0 až 1000 W/m²,

u VTE od 100 kW Rychlost větru v rozsahu 0 až 30 m/s.

Je požadován přenos hodnot ve formátu „Measured value, short floating point number“.

Typy snímačů distributor nepředepisuje, nestanovuje ani pravidla pro umístění snímačů.

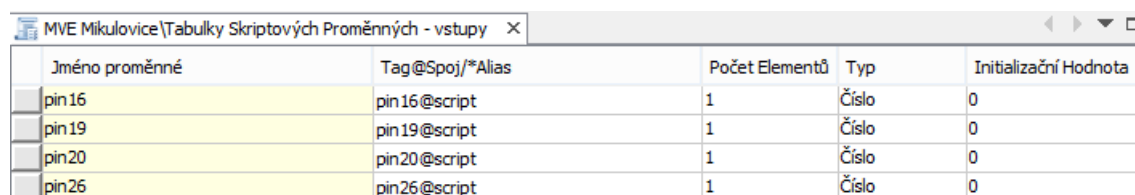
.

5.2 Vlastní návrh dispečerského rozhraní.

Vlastní návrh dispečerského rozhraní se skládá z návrhu zpracování čtyř digitálních vstupů pro ovládání činného výkonu a asi 16 digitálních a 10 analogových výstupních hodnot, které je třeba poskytnout dispečinku.

Digitální vstupy BO 1, BO 2, BO3 a BO4 pro ovládání činného výkonu výroby budou realizovány přímo pomocí digitálních pinů Raspberry PI, konkrétně pinů pomocí č 16, 19, 20 a 26.

Pro vstup do programu byly vytvořeny skriptové proměnné pin 16, pin19, pin20 pin a pin26. S těmito proměnnými je možné dále v řídicím a monitorovacím systému pracovat.



Jméno proměnné	Tag@Spoj/*Alias	Počet Elementů	Typ	Inicializační Hodnota
pin16	pin16@script	1	Číslo	0
pin19	pin19@script	1	Číslo	0
pin20	pin20@script	1	Číslo	0
pin26	pin26@script	1	Číslo	0

Obrázek 22 Skriptové proměnné pro digitální vstupy

Pro čtení informace přímo z pinů musí být na Raspberry PI v souboru piny.sh krátký program:

```
GPIO_EXPORT="/sys/class/gpio/export"
GPIO16="/sys/class/gpio/gpio16"
GPIO19="/sys/class/gpio/gpio19"
GPIO20="/sys/class/gpio/gpio20"
GPIO26="/sys/class/gpio/gpio26"
if [ -d $GPIO16 ]; then
    cat $GPIO16"/value"
else
```

```

echo "16" > $GPIO_EXPORT
echo "in" > $GPIO16"/direction"
cat $GPIO16"/value"
if [ -d $GPIO19 ]; then
    cat $GPIO19"/value"
else
    echo "19" > $GPIO_EXPORT
    echo "in" > $GPIO19"/direction"
    cat $GPIO19"/value"
if [ -d $GPIO20 ]; then
    cat $GPIO20"/value"
else
    echo "20" > $GPIO_EXPORT
    echo "in" > $GPIO20"/direction"
    cat $GPIO20"/value"

if [ -d $GPIO26 ]; then
    cat $GPIO26"/value"
else
    echo "26" > $GPIO_EXPORT
    echo "in" > $GPIO26"/direction"
    cat $GPIO26"/value"

```

Vlastní načítání je prováděno potom pomocí časovaného skriptu piny každých 6 s.

Skript piny:

```

var exec=require('child_process').exec, child;
child= exec('/home/pi/piny/piny.sh',function(error,stdout,stderr) {
    //console.log('pred ifem ');
    if (stdout !='') {
        var stavy = stdout.split("\n");
        vstupy.pin16.value = stavy[0];
    }
});

```

```

        vstupy.pin19.value = stavy[1];
        vstupy.pin20.value = stavy[2];
        vstupy.pin26.value = stavy[3];
        myscada.writeTable('vstupy', null);
    }
    if (stderr != "") {
        console.log('stderr: ' + stderr);
    }
    if (error !== null) {
        console.log('error: ' + error);
    }
});

```

Pro přenos požadovaných analogových a binárních výstupů z monitorovaného systému bylo navrženo rozhraní pomocí souboru dispecink.txt ve formátu XML, který bude přístupný ze sítě internet.

Struktura souboru dispecink.txt:

```

<MVE-FCP>
  <BI1 name="Odpínač vypnut">0</BI1>
  <BI2 name="Odpínač zapnut">0</BI2>
  <BI3 name="Přípojnicový odpojovač vypnut">0</BI3>
  <BI4 name="Přípojnicový odpojovač zapnut ">0</BI4>
  <BI5 name="Vývodový odpojovač vypnut">0</BI5>
  <BI6 name="Vývodový odpojovač zapnut">0</BI6>
  <BI7 name="Vývodový uzemňovač vypnut">0</BI7>
  <BI8 name="Vývodový uzemňovač zapnut">0</BI8>
  <BI9 name="Suma působení ochran">0</BI9>
  <BI10 name="Výpadek jističů PTN pro ochrany a měření">0</BI10>
  <BI11 name="100% výkonu">0</BI11>
  <BI12 name="60% (75%) výkonu">0</BI12>
  <BI13 name="30% (50%) výkonu ">0</BI13>
  <BI14 name="0% výkonu ">0</BI14>

```

```

<BI15 name="Překročení meze P">0</BI15>
<BI16 name="Odpojení napájení RTU">0</BI16>
<AI1 name="Napětí L1">0</AI1>
<AI2 name="Napětí L2">0</AI2>
<AI3 name="Napětí L3">0</AI3>
<AI4 name="Proud I1">0</AI4>
<AI5 name="Proud I2">0</AI5>
<AI6 name="Proud I3">0</AI6>
<AI7 name="Činný výkon">0</AI7>
<AI8 name="Jalový výkon">0</AI8>
<AI9 name="Venkovní teplota v rozsahu -30 až +40 °C">0</AI9>
<AI10 name="Teplota vody v rozsahu -10 až +40 °C">0</AI10>

```

Pro plnění dat do tohoto souboru byl vytvořen v systému MyScada časovaný skript s názvem xml. Část skriptu xml:

```

var bi1;
var bi2;
var bi3;
var bi4;
var bi5;
var bi6;
var bi7;
var ai7;
var ai9;
var xml1;

// nacteni hodnot z tabulky
myscada.readTable('xml', function(status) {
    if (!status) {
        console.log('table read fail'); // write to console on Telnet port 11015
    } else {
        bi1 = xml.bi1.value;

```

```

        bi2 = xml.bi2.value;

        bi3 = xml.bi3.value;
        bi4 = xml.bi4.value;
        bi5 = xml.bi5.value;
        bi6 = xml.bi6.value;
        bi7 = xml.bi7.value;
        ai7 = xml.ai7.value;
        ai9 = xml.ai9.value;
        xmll = "<MVE-FCP>";
        xmll += "<BI1 name=\"Odpínač vypnut\">"+bi1+"</BI1>";
        xmll += "<BI2 name=\"Odpínač zapnut\">"+bi1+"</BI1>";
xmll += "<BI3 name=\"Přípojniový odpojovač vypnut\">"+bi3+"</BI3>";
        xmll += "<BI4 name=\"Přípojniový odpojovač zapnut\">"+bi4+"</BI4>";
        xmll += "<BI5 name=\"Vývodový odpojovač vypnut\">"+bi5+"</BI5>";
        xmll += "<BI6 name=\"Vývodový odpojovač zapnut\">"+bi6+"</BI6>";
        xmll += "<BI7 name=\"Vývodový uzemňovač vypnut\">"+bi7+"</BI7>";
        xmll += "<AI7 name=\"Činný výkon\">"+ai7+"</AI7>";
        xmll += "<AI9 name=\"Jalový výkon\">"+ai9+"</AI9>";
        xmll += "</MVE-FCP>";
        console.log(xmll);
    } });

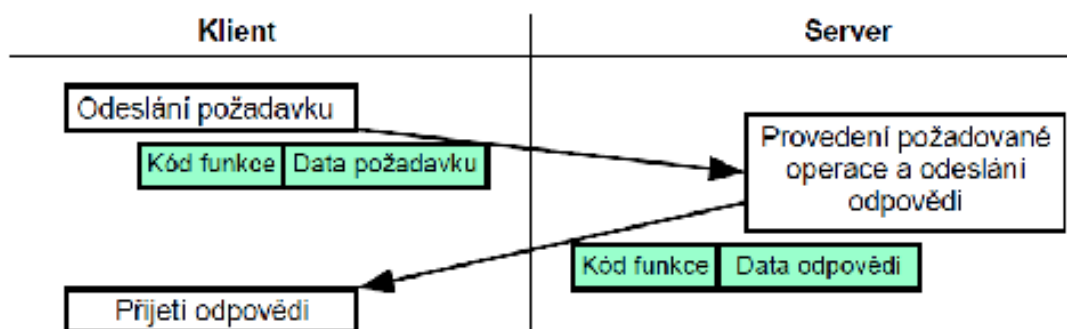
```

6 Test zařízení na vodní elektrárně.

Pro vlastní aplikaci tohoto zařízení do řídicího systému stávající malé vodní elektrárny v Mikulovicích bylo třeba upravit stávající řídicí systém. Tato elektrárna je řízena pomocí zařízení WinPAC-8000 a řídicího systému Rexcontrol. Pro komunikaci monitorovacího programu Myscada, který běží na Raspberry PI a řídicího systému Rexcontrol instalovaného na WinPAC-8000 byl použit protokol Modbus TCP.

6.1 Protokol Modbus

Protokol MODBUS definuje strukturu zprávy na úrovni protokolu (PDU – Protocol Data Unit) nezávisle na typu komunikační vrstvy. V závislosti na typu sítě, na které je protokol použit, je PDU rozšířena o další části a tvoří tak zprávu na aplikační úrovni (ADU – Application Data Unit). Kód funkce udává serveru jaký druh operace má provést. Rozsah kódů je 1 až 255, přičemž kódy 128 až 255 jsou vyhrazeny pro oznámení záporné odpovědi (chyby). Některé kódy funkcí obsahují i kód podfunkce upřesňující blíže požadovanou operaci. Obsah datové části zprávy poslané klientem slouží serveru k uskutečnění operace určené kódem funkce. Obsahem může být například adresa a počet vstupů, které má server přečíst nebo hodnota registrů, které má server zapsat. U některých funkcí nejsou pro provedení operace zapotřebí další data a v tom případě může datová část ve zprávě úplně chybět. Pokud při provádění požadované operace nedojde k chybě, odpoví server zprávou, která v poli Kód funkce obsahuje kód provedené (požadované) funkce jako indikaci úspěšného vykonání požadavku.



Obrázek 23 Transakce s bezchybným provedením žádosti.

V datové části odpovědi předá server klientovi požadovaná data (pokud jsou nějaká). Maximální velikost PDU (Protocol Data Unit) je zděděna z první implementace Modbus na sériové lince RS-485, kde byla maximální velikost ADU (Application Data Unit) 256 bytů. Tomu odpovídá maximální velikost PDU 253 bytů. Max. velikost zprávy na sériové lince = 256 – adresa serveru (1 byte) – kontrolní součet CRC (2 byty) = 253 bytů.

Protokol MODBUS definuje 3 základní typy zpráv (PDU):

Požadavek (Request PDU)

- 1 byte Kód funkce

- n bytů Datová část požadavku – adresa, proměnné, počet proměnných...

Odpověď (Response PDU)

- 1 byte Kód funkce (kopie z požadavku)

- m bytů Datová část odpovědi – přečtené vstupy, stav zařízení ...

Záporná odpověď (Exception Response PDU)

- 1 byte Kód funkce + 80h (indikace neúspěchu)

- 1 byte Chybový kód (identifikace chyby)

Kód obsahuje funkci 03:Čti uchovávací registry (ReadHolding Registers)

Tato funkce slouží ke čtení obsahu souvislého bloku až 125 uchovávacích registrů. V požadavku je specifikována adresa prvního registru a počet registrů. V odpovědi odpovídá každému registru dvojice bytů.

Požadavek

Kód funkce 1 byte 0x03

Počáteční adresa 2 byty 0x0000 až 0xFFFF

Počet registrů 2 byte 1 až 125 (0x7D)

Odpověď

Kód funkce 1 byte 0x03

Počet bytů 1 byte 2*N

Hodnoty registrů 2*N bytů

N = počet registrů

Chyba

Kód funkce 1 byte 0x83

Chybový kód 1 byty 01, 02, 03 nebo 04

			Kódy funkcí		
			Kód	Podfunkce	hex
Přístup k datům	Bitový přístup	Fyzické diskretní vstupy	Čti diskretní vstupy	02	02
		Interní bity nebo fyzické cívky	Čti cívky	01	01
			Zapiš jednu cívku	05	05
			Zapiš více cívek	15	0F
	16-bitový přístup	Fyzické vstupní registry	Čti vstupní registr	04	04
		Interní registry nebo fyzické výstupní registry	Čti uchovávací registry	03	03
			Zapiš jeden registr	06	06
			Zapiš více registrů	16	10
			Čti/zapiš více registrů	23	17
			Zapiš registr s maskováním	22	16
			Čti FIFO frontu	24	18
		Přístup k záznamům v souborech	Čti záznam ze souboru	20	6
	Zapiš záznam do souboru		21	6	15
	Čti stav		07	07	
	Diagnostika		08	00 18, 20	08
	Diagnostika	Čti čítač kom. událostí	11		0B
		Čti záznam kom. událostí	12		0C
		Sděl identifikaci	17		11
		Čti identifikaci zařízení	43	14	2B
Ostatní		Zapouzdřený přenos	43	13, 14	2B
	CANOpen základní odkaz	43	13	2B	

Obrázek 24 Přehled funkcí protokolu.

Dále je implementována funkce 16 Zapiš více registrů (Write Multiple Registers)

Tato funkce slouží k zápisu bloku až 120 registrů. V požadavku je specifikována adresa prvního registru, který se má zapsat, počet registrů a hodnoty, které se mají zapsat.

Normální odpověď obsahuje počáteční adresu a počet zapsaných registrů.

Požadavek

Kód funkce 1 byte 0x10

Počáteční adresa 2 byty 0x0000 až 0xFFFF

Počet registrů 2 byty 1 až 120 (0x78)

Počet bytů 1 byte 2*N

Hodnoty registrů 2*N bytů

N = počet registrů

Odpověď

Kód funkce 1 byte 0x10

Počáteční adresa 2 byty 0x0000 až 0xFFFF

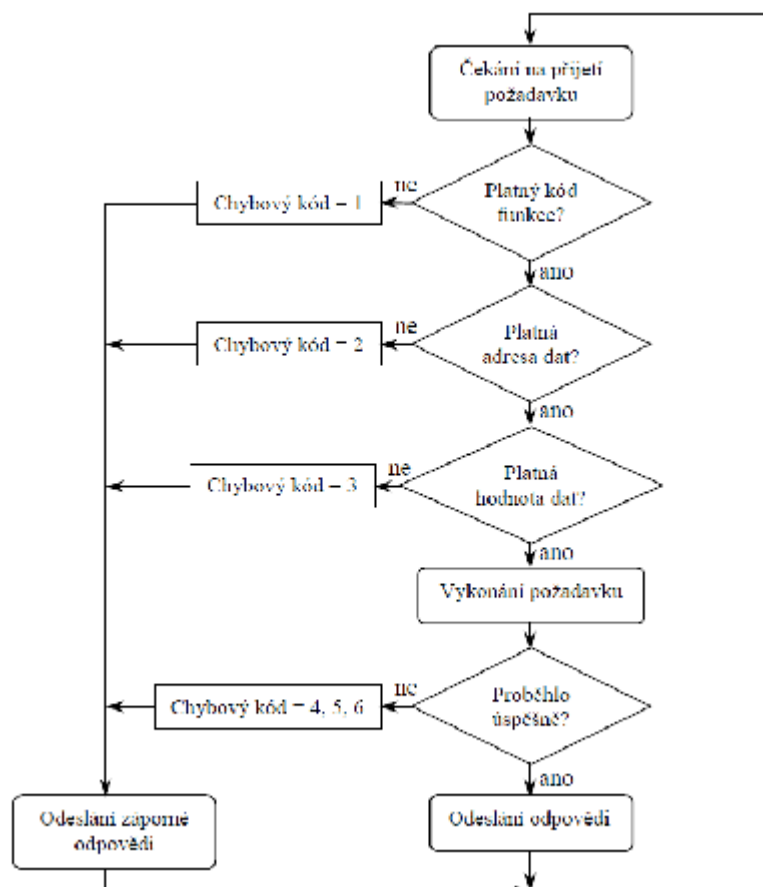
Počet registrů 2 byty 1 až 120 (0x78)

Chyba

Kód funkce 1 byte 0x90

Chybový kód 1 byty 01, 02, 03 nebo 04

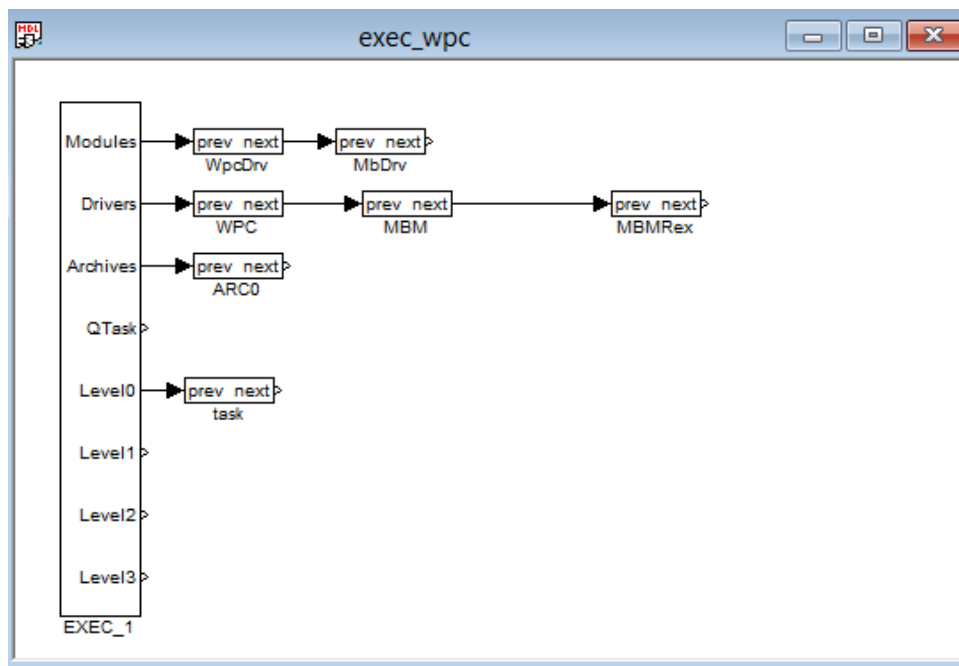
Obdobným způsobem lze implementovat další funkce protokolu Modbus.



Obrázek 25 Obecný postup zpracování MODBUS požadavku na straně Slave.

6.2 Úprava řídicího systému Rexcontrol.

Pro správnou funkci komunikace je třeba doplnit další blok ovladače Modbus s názvem MBMRex za již stávající blok ovladače MBM, který je využívám pro komunikaci protokolem Modbus RTU s analyzátořem sítě.



Obrázek 26 Vložení bloku ovladače.

Po jeho otevření se objeví okno s parametry tohoto bloku, kde je třeba nastavit odlišné jméno konfiguračního souboru od konfiguračního souboru prvního ovladače MBM. Já jsem zvolil mbm1.rio. Pro použitou verzi TCP protokolu Modbus je zde je třeba i zvolit parametr classname na hodnotu MtsDrv.

The 'Block properties' dialog box for the 'MBMRex' block shows the following configuration:

- Block name:** MBMRex
- Block type:** |execlib\IODRV
- Block type description:** The REX Control System input/output driver
- Description:**
 - ☐ Alternate name placement
 - ☒ Show name
- Orientation:**
 - ☒ >
 - ☐ <
 - ☐ v
 - ☐ ^
- Parameters:**

No.	Parameter	Value	Minimum	Maximum	Type
1	module	MbDrv			String
2	classname	MtsDrv			String
3	cfgname	mbm1.rio			String
4	factor	5	1		Long
5	stack	10240	1024		Long
6	pri	3		31	Long
7	timer	off			Bool
- Module name:** MbDrv
- Buttons:** OK, Stomo, Special edit

Obrázek 27 Vlastnosti bloku ovladače.

Potom volbou tlačítka Special edit v následujícím okně navolit všechny přenášené proměnné a další parametry protokolu Modbus. Adresa LocalIP se nevyplňuje.

Name	Slave	Address	Type	Flags	Count	Perio
R_napeti_U1		1	Reg16	WI	1	0.00000
R_napeti_U2		2	Reg16	WI	1	0.00000
R_napeti_U3		3	Reg16	WI	1	0.00000
R_proud_I1		4	Reg16	WI	1	0.00000
R_proud_I2		5	Reg16	WI	1	0.00000
R_proud_I3		6	Reg16	WI	1	0.00000
R_CosPhi1		7	Reg16	WI	1	0.00000
R_CosPhi2		8	Reg16	WI	1	0.00000
R_CosPhi3		9	Reg16	WI	1	0.00000
R_CosPhiSUM		15	Reg16	WI	1	0.00000
R_vykon		10	Reg16	WI	1	0.00000
R_Hladina		11	Reg16	WI	1	0.00000
R_HladinaPoz		16	Reg16	WI	1	0.00000

Obrázek 28 Konfigurace proměnných.

Potom už stačí zvolené vstupy a výstupy pomocí bloků From a Goto zahrnout do řídicího schématu.

No.	Parameter	Value	Minimum	Maximum	Type
1	GotoTag	MBMRex__R_Nastav_RK			String

Obrázek 29 Blok From.

Block properties

Block Font Colors

Block name:
R_proud_11

Block type:
|pseudolib\Goto

Block type description:
Signal source or output

Description

☐ Alternate name placement
☐ Show name

Orientation

☒ > ☐ v
☐ < ☐ ^

Help

Parameters:

No.	Parameter	Value	Minimum	Maximum	Type
1	GotoTag	MBMRex__R_proud_11			String
2	TagVisibility	local			String

Goto tag

MBMRex__R_proud_11

Special edit

OK

Stomo

Obrázek 30 Blok Goto.

7 Zhodnocení a závěr

Hlavním cílem této práce bylo navrhnout a v praxi vyzkoušet finančně nenáročný, ale plně funkční systém pro měření provozních veličin obnovitelných zdrojů s připojením k ethernetu. Při návrhu se využilo možností zařízení Raspberry PI, jeho rozhraní USB pro modem, digitální piny pro dispečerské řízení a připojení ethernetu pro spojení s monitorovaným systémem a okolím. Pro zpracování webového rozhraní jsem použil doporučený software od firmy mySCADA Technologies. Řídicí systém spolu s vizualizací jsem navrhl tak, aby umožňoval komplexní řízení provozu od jejího ovládání, hlídání poruchových stavů, monitorování trendů až po hlídání parametrů na dálku přes veřejnou internetovou adresu. Dále systém umožňuje posílání chybových a informačních SMS zpráv přes GSM modem.

Zařízení bylo vyzkoušeno a instalováno na stávající malé vodní elektrárně v Mikulovicích a propojeno s řídicím systémem Rexcontrol protokolem Modbus.

Navržené zařízení by mohlo najít uplatnění na dalších obnovitelných zdrojích, na které jsou v současné době kladeny nové požadavky na dálkové sledování a ovládání a na instalaci dispečerského systému.

Literatura

- [1] DOLEČEK, Jaroslav. [i]Moderní učebnice elektroniky - 3. díl.[/i] 1. vyd. BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-184-5.
- [2] CLARKE, Gordon; REYNDERS, Deon. [i]Practical Modern SCADA Protocols: DNP3, 60870.5 and Related Systems (IDC Technology).[/i] 1st ed. Newnes, 2004. ISBN 978-0750657990.
- [3] KREIDL, Marcel; ŠMÍD, Radislav. [i] Technická diagnostika - senzory, metody, analýza signálu - 4. díl edice Senzory neelektrických veličin.[/i] 1. vyd. BEN - technická literatura, 2006. ISBN 9788073001582.
- [4] UPTON, Eben; HALFACREE, Gareth. [i] Raspberry Pi User Guide.[/i] 3rd ed. Wiley, 2014. ISBN 978-1118921661.
- [5] International standard IEC 60870-5-104.
- [6] BEDNÁŘ, J. (1989). Malé vodní elektrárny 2 Turbíny. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, n.p.
- [7] ELVAC. (20. 4 2015). <http://www.rtu.cz/Default.aspx?tabid=86&language=cs-CZ>. Načteno z <http://www.rtu.cz/Default.aspx?tabid=86&language=cs-CZ>: <http://www.rtu.cz/Default.aspx?tabid=86&language=cs-CZ>
- [8] Gabriel, P; Čihák, F; Kalandra, P. (1998). Malé vodní elektrárny. 321. Praha: ČVUT Praha.
- [9] <http://www.unima-ks.cz/bridge-104.html>. (22. 04 2015). Načteno z <http://www.unima-ks.cz/bridge-104.html>: <http://www.unima-ks.cz/bridge-104.html>
- [9] Šindelářová, I. Kobza, M. (2007). Tepny krajiny. Olomouc: Václav Lukeš, nakladatelství poznání.
- [10] Mastný, P. (2006). Ústavu elektroenergetiky. Získáno 14.. 05. 2012, z <http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/skripta/voda.pdf>
- [11] <http://cs.wammu.eu/gammu/>. (22. 04 2015). Načteno z <http://cs.wammu.eu/gammu/>: <http://cs.wammu.eu/gammu/>

Seznam obrázků a tabulek

Tabulky:

- Tabulka 1. MVE podle dosažitelného výkonu
Tabulka 2. MVE podle velikosti měrné energie
Tabulka 3. Přehled měřených hodnot UMG 96S

Obrázky:

Obrázek 1 princip Segnerova kolo [8].	5
Obrázek 2 Montáž automatiky Peltonovy turbíny v Rakouských Alpách.	6
Obrázek 3 Příklad měření neelektrických veličin u MVE 1, 2- měření výšky hladiny, 3, 4- teplota, 5, 6 – poloha otevření OK a RK.	10
Obrázek 4 Kompaktní jednotka RTU pro řízení obnovitelných zdrojů.	12
Obrázek 5 Komunikační možnosti jednotky RTU.	13
Obrázek 6 Modul RTU pro dispečerské řízení (Bridge-104) [9].	14
Obrázek 7 Raspberry Pi B+[4].	16
Obrázek 8 piny DALLAS D18B20.	17
Obrázek 9 Blokové schéma monitorovacího systému MVE.	19
Obrázek 10 Úvodní obrazovka monitorovacího systému.	20
Obrázek 11 Obrazovka provozu turbíny.	21
Obrázek 12 Ovládání čerpadel.	22
Obrázek 13 Ovládání rozváděcího kola.	23
Obrázek 14 Obrazovka čistícího stroje	24
Obrázek 15 Obrazovka nastavení parametrů.	25
Obrázek 16 Zobrazení trendů.	26
Obrázek 17 Nastavení spojení v myPROJECT Designeru.	27
Obrázek 18 Vytvoření Tagů pro komunikaci.	27
Obrázek 19 Skriptové proměnné teploměry.	28
Obrázek 20 Hlavní obrazovka.	29
Obrázek 21 Předávání portů.	30
Obrázek 22 Skriptové proměnné pro digitální vstupy	34
Obrázek 23 Transakce s bezchybným provedením žádosti.	39
Obrázek 24 Přehled funkcí protokolu.	41
Obrázek 25 Obecný postup zpracování MODBUS požadavku na straně Slave.	42
Obrázek 26 Vložení bloku ovladače.	43
Obrázek 27 Vlastnosti bloku ovladače.	43
Obrázek 28 Konfigurace proměnných.	44
Obrázek 29 Blok From.	44
Obrázek 30 Blok Goto.	45

